

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-253437

(43)Date of publication of application : 09.09.2004

(51)Int.Cl.

H01L 43/12  
G23F 1/00  
G11B 5/39  
H01L 43/08

(21)Application number : 2003-039400

(71)Applicant : TDK CORP

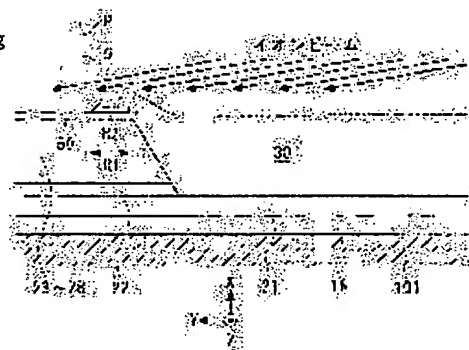
(22)Date of filing : 18.02.2003

(72)Inventor : KAGAMI TAKERO  
SATO KAZUKI

## (54) PATTERN FORMING METHOD, MANUFACTURING OF MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT AND MAGNETIC HEAD USING METHOD, AND HEAD SUSPENSION ASSEMBLY AND MAGNETIC DISK UNIT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To eliminate any unnecessary formation left behind on the peripheral part or the like of a patterned film which is cleaned by dry etching by using a resist pattern for lift-off as a mask.  
**SOLUTION:** A pattern forming method forms a resist pattern for lift-off on a first film constituted of a plurality of layers 23-28 which are formed on a substrate 101. The first film is subjected to patterning by dry etching by using the resist pattern as a mask. After that, a second film 30 is formed in the state that the resist pattern exists on the first film. A substrate 101 in this state is etched. This etching stage includes a stage wherein the incident angle of etching particles is set at least 60° and at most 90° with respect to the normal line direction of the substrate 101, and dry etching is performed.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

05.07.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基体の一方の面側に成膜された 1 層以上からなる第 1 の膜上に、リフトオフ用レジストパターンを形成するリフトオフ用レジストパターン形成段階と、  
前記リフトオフ用レジストパターンをマスクとしてドライエッチングを行うことにより、前記第 1 の膜をパターンニングするパターンニング段階と、  
前記パターンニング段階の後に、前記リフトオフ用レジストパターンが前記第 1 の膜上に存在する状態で、前記基体の前記一方の面側に、1 層以上からなる第 2 の膜を成膜する成膜段階と、  
前記リフトオフ用レジストパターンを除去することにより、前記第 2 の膜の前記リフトオフ用レジストパターン上の部分を除去する除去段階と、  
前記除去段階の後に、前記基体の前記一方の面側をエッチングするエッチング段階と、を備え、  
前記エッチング段階は、実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用い、前記基体の前記一方の面側に対する前記エッチング粒子の主たる入射角度を、前記基体の前記一方の面の法線方向に対して  $60^{\circ}$  以上  $90^{\circ}$  以下に設定して、ドライエッチングを行う段階を含む、ことを特徴とするパターン形成方法。

## 【請求項 2】

前記エッチング段階の前記ドライエッチングは、He、Ne、Ar、Kr 及び Xe からなる群より選ばれた 1 種以上からなる単体ガス又は混合ガスを用いたイオンビームエッチングであることを特徴とする請求項 1 記載のパターン形成方法。

## 【請求項 3】

基体の一方の面側に成膜された 1 層以上からなる第 1 の膜上に、リフトオフ用レジストパターンを形成するリフトオフ用レジストパターン形成段階と、  
前記リフトオフ用レジストパターンをマスクとしてドライエッチングを行うことにより、前記第 1 の膜をパターンニングするパターンニング段階と、  
前記パターンニング段階の後に、前記リフトオフ用レジストパターンが前記第 1 の膜上に存在する状態で、前記基体の前記一方の面側に、1 層以上からなる第 2 の膜を成膜する成膜段階と、  
前記リフトオフ用レジストパターンを除去することにより、前記第 2 の膜の前記リフトオフ用レジストパターン上の部分を除去する除去段階と、  
前記除去段階の後に、前記基体の前記一方の面側をエッチングするエッチング段階と、を備え、  
前記エッチング段階は、ガスクラスターイオンビームによるドライエッチングを行う段階を含む、ことを特徴とするパターン形成方法。

## 【請求項 4】

前記リフトオフ用レジストパターンは、アンダーカットを有する断面形状又は逆テーパ状の断面形状を持つことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のパターン形成方法。

## 【請求項 5】

前記エッチング段階の前記ドライエッチングは、前記基体を前記法線と略平行な軸回りに回転させながら行うことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のパターン形成方法。

## 【請求項 6】

前記第 2 の膜が絶縁層を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のパターン形成方法。

## 【請求項 7】

前記第 1 の膜の前記基体とは最も反対側の層が金属層であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のパターン形成方法。

## 【請求項 8】

40

50

基体の一方の面側に形成された磁気抵抗効果層を有する磁気抵抗効果素子の製造方法であって、請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のパターン形成方法を含み、前記第 1 の膜は、前記磁気抵抗効果層を構成する構成層のうちの少なくとも前記基体とは最も反対側の構成層を含むことを特徴とする磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項 9】

前記第 1 の膜がフリー層を含み、前記第 2 の膜が前記フリー層の磁区を制御する磁区制御層を含むことを特徴とする請求項 8 記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項 10】

前記磁気抵抗効果素子は、前記磁気抵抗効果層の有効領域にその膜面と略々垂直な方向に電流を流すための一対の電極を有することを特徴とする請求項 8 又は 9 記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。 10

【請求項 11】

前記磁気抵抗効果層は、フリー層と、該フリー層の一方の面側に形成されたトンネルバリア層又は非磁性金属層と、前記トンネルバリア層又は前記非磁性金属層の前記フリー層とは反対の側に形成されたピン層と、前記ピン層の前記トンネルバリア層又は前記非磁性金属層とは反対の側に形成されたピン層とを含むことを特徴とする請求項 10 記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項 12】

前記磁気抵抗効果素子は、前記磁気抵抗効果層の有効領域にその膜面と略々平行な方向に電流を流すための一対のリード層を備え、  
前記一対のリード層は、前記磁気抵抗効果層の前記基体とは反対側において前記前記磁気抵抗効果層の一部上まで延在するオーバーレイ部を有することを特徴とする請求項 8 又は 9 記載の磁気抵抗効果素子の製造方法。 20

【請求項 13】

基体の一方の面側に形成された磁気抵抗効果層を有する磁気抵抗効果素子を備えた磁気ヘッドの製造方法であって、請求項 8 乃至 12 のいずれかに記載の製造方法を含むことを特徴とする磁気ヘッドの製造方法。

【請求項 14】

前記パターンニング段階により少なくとも前記磁気抵抗効果素子のハイト方向の一方側の端部が規定されることを特徴とする請求項 13 記載の磁気ヘッドの製造方法。 30

【請求項 15】

前記パターンニング段階により少なくとも前記磁気抵抗効果素子のトラック幅方向の両側の端部が規定されることを特徴とする請求項 13 又は 14 記載の磁気ヘッドの製造方法。

【請求項 16】

請求項 13 乃至 15 のいずれかに記載の製造方法により製造された磁気ヘッドと、該磁気ヘッドが先端部付近に搭載され前記磁気ヘッドを支持するサスペンションと、を備えたことを特徴とするヘッドサスペンションアセンブリ。

【請求項 17】

請求項 16 記載のヘッドサスペンションアセンブリと、該アセンブリを支持するアーム部と、該アーム部を移動させて磁気ヘッドの位置決めを行うアクチュエータと、を備えたことを特徴とする磁気ディスク装置。 40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、リフトオフ法を用いたパターン形成方法、これを用いた磁気抵抗効果素子及び磁気ヘッドの製造方法、並びに、ヘッドサスペンションアセンブリ及び磁気ディスク装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

ハードディスクドライブ（HDD）の大容量小型化に伴い、高感度、高出力のヘッドが要 50

求されている。その要求に対して、現行製品であるGMRヘッド(Giant Magnetoresistive Head)の懸命な特性改善が進んでおり、一方でGMRヘッドの2倍以上の抵抗変化率が期待できるトンネル磁気抵抗効果型ヘッド(TMRヘッド)の開発も精力的に行われている。

#### 【0003】

GMRヘッドとTMRヘッドは、一般的に、センス電流を流す方向の違いからヘッド構造が異なる。一般にGMRヘッドのような膜面に対して平行にセンス電流を流すヘッド構造をCIP(Current In Plane)構造、TMRヘッドのように膜面に対して垂直にセンス電流を流すヘッド構造をCPP(Current Perpendicular to Plane)構造と呼ぶ。CPP構造は、磁気シールドそのものを電極として用いることができるため、CIP構造の狭リードギャップ化において深刻な問題になっている、磁気シールド素子間ショート(絶縁不良)が本質的に生じない。そのため、高記録密度化においてCPP構造は大変有利である。

#### 【0004】

CPP構造のヘッドとしては、TMRヘッドの他にも、例えば、磁気抵抗効果素子にスピンバルブ膜(スペキュラー型、デュアルスピンバルブ型磁性多層膜を含む)を用いながらもCPP構造を持つCPP-GMRヘッドも知られている。

#### 【0005】

CPP構造のヘッドでは、いずれのタイプのヘッドであっても、基体上に形成された磁気抵抗効果層に電流を流すための上部電極及び下部電極が、前記磁気抵抗効果層の上面側(基体と反対側)及び下面側(基体側)にそれぞれ形成されている。そして、CPP構造のヘッドは、上部電極と下部電極との間の電流バスを制限するための絶縁層が、磁気抵抗効果層の主要な層(例えば、TMRヘッドの場合にはトンネルバリア層)の周囲に配置された構造を有している。この制限された電流バスは、磁気記録媒体からの磁場を検出するための有効領域とほぼ一致する。特許文献1には、このようなCPP構造のヘッドの例として、TMRヘッドが開示されている。前記絶縁層の材料としては、一般的に、 $Al_2O_3$ 、又は $SiO_2$ が用いられている。また、磁気ヘッドでは、CPP構造のヘッドであるかCIP構造のヘッド(後述するLOL構造のヘッドを含む)であるかを問わず、一般的に、磁気抵抗効果層のトラック幅方向の両側に磁区制御層を設けることが多い。この磁区制御層は、磁気抵抗効果層の一部を構成するフリー層に磁区制御のためのバイアス磁界(いわゆる縦バイアス)を付与するものである。

#### 【0006】

特許文献1に開示されているような従来のCPP構造のヘッドを製造する場合、一般的に、リフトオフ法が用いられている。すなわち、基板上に形成された磁気抵抗効果層を構成する構成層上にリフトオフ用レジストパターンを形成し、このレジストパターンをマスクとしてイオンミリング等のドライエッチングにより前記構成層をパターニングし、更に前記レジストパターンが存在する状態で絶縁層(あるいは、絶縁層と金属層(磁区制御層)との積層)を成膜し、前記レジストパターン及びその上の絶縁層(あるいは、絶縁層と金属層(磁区制御層)との積層)を除去し、これにより、前記絶縁層を前記構成層の周囲に形成するとともに、磁区制御層を前記構成層のトラック幅方向の両側に形成している。

#### 【0007】

その後前記上部電極が形成されるが、製造工程上、一般的に、磁気抵抗効果層の形成後であって上部電極の形成前に、磁気抵抗効果層が形成された基体が大気中に置かれる。このとき、磁気抵抗効果層の上面が空気中で酸化されてしまうことにより磁気抵抗効果層のMR比等の特性を損なうような事態を防止するため、磁気抵抗効果層の上面には、保護膜として、キャップ層と呼ばれる非磁性金属層が予め形成される。この非磁性金属層としては、例えば、Ta、Ru、Rh、Au、Pt、Ag、Pd、Ir、Cuなどが用いられている。そして、CPP構造のヘッドでは、上部電極は、この非磁性金属層を介して、磁気抵抗効果層に電気的に接続されている。前記非磁性金属層は、前記構成層の最上に形成され、他の構成層と共に前記イオンミリング等によりパターニングされる。

## 【 0 0 0 8 】

C P P 構造のヘッドでは、上部電極及び前記非磁性金属層を経由して磁気抵抗効果層に電流を流すため、上部電極と非磁性金属層との間に良好な電氣的接触を保ち、低抵抗化を実現する必要がある。ところが、非磁性金属層として T a、R u、R h、A u、P t、A g、P d、I r、C uなどが用いられているので、磁気抵抗効果層及び非磁性金属層が形成された基体を大気中に置いた際に、非磁性金属層の表面は空気中で酸化するか、あるいは、非磁性金属層の表面に O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oなどが吸着する。このため、そのままの状態では非磁性金属層の上に上部電極などの他の層を形成するとすれば、上部電極と非磁性金属層との間に良好な電氣的接触を保つことができない。そこで、非磁性金属層の上に上部電極などの他の層を形成する前に、上部電極等を成膜するのと同じの真空装置内で、ドライエッチング（スパッタエッチング、イオンビームエッチング等、ドライプロセス全般を含む）することにより、非磁性金属層の表面酸化膜が除去されている。従来は、このドライエッチングは、クラスターを形成しないエッチング粒子を用い、そのエッチング粒子の入射角を基体の面の法線方向に設定して、行われていた。

## 【 0 0 0 9 】

C I P 構造のヘッドとしては、L O L（lead overlay）構造を持つヘッドも知られている（例えば、特許文献 2）。L O L 構造は、スピナル膜等の磁気抵抗効果層の上面側に、磁気抵抗効果層に電流を流すための 2 つの上部電極が形成され、一方の上部電極の一部が磁気抵抗効果層の面方向の一方側部分に重なり、他方の上部電極の一部が磁気抵抗効果層の面方向の他方側部分に重なるように配置され、両者の電極が面方向に間隔をあけた構造である。すなわち、L O L 構造は、磁気抵抗効果層の有効領域にその膜面と略々平行な方向に電流を流すための一対のリード層が、磁気抵抗効果層の上面側（基体とは反対側）において前記磁気抵抗効果層の一部上まで延在するオーバーレイ部を有する構造である。

## 【 0 0 1 0 】

このような L O L 構造のヘッドを製造する場合にも、C P P 構造のヘッドを製造する場合と同様に、一般的にリフトオフ法が用いられている。すなわち、基板上に形成された磁気抵抗効果層を構成する構成層上にリフトオフレジストパターンを形成し、このレジストパターンをマスクとしてイオンミリング等のドライエッチングにより前記構成層をパターニングし、更に前記レジストパターンが存在する状態で絶縁層（あるいは、金属層（磁区制御層））を成膜し、前記レジストパターン及びその上の絶縁層（あるいは、金属層（磁区制御層））を除去し、これにより、前記絶縁層を前記構成層の周囲（L O L 構造では、ハイト方向後端部（A B S（エアベアリング面）とは反対側の端部）に形成するとともに、磁区制御層を前記構成層のトラック幅方向の両側に形成している。

## 【 0 0 1 1 】

その後前記リード層が形成されるが、製造工程上、一般的に、磁気抵抗効果層の形成後であってリード層の形成前に、磁気抵抗効果層が形成された基体が大気中に置かれる。このとき、磁気抵抗効果層の上面が空気中で酸化されてしまうことにより磁気抵抗効果層の M R 比等の特性を損なうような事態を防止するため、C P P 構造のヘッドの場合と同様に、磁気抵抗効果層の上面には、保護膜として、キャップ層と呼ばれる非磁性金属層が予め形成される。この非磁性金属層としては、例えば、T a、R u、R h、A u、P t、A g、P d、I r、C uなどが用いられている。そして、L O L 構造のヘッドでは、リード層は、この非磁性金属層を介して、磁気抵抗効果層に電氣的に接続されている。前記非磁性金属層は、前記構成層の最上に形成され、他の構成層と共に前記イオンミリング等によりパターニングされる。

## 【 0 0 1 2 】

L O L 構造のヘッドでは、リード層及び前記非磁性金属層を経由して磁気抵抗効果層に電流を流すため、リード層と非磁性金属層との間に良好な電氣的接触を保ち、低抵抗化を実現する必要がある。ところが、非磁性金属層として T a、R u、R h、A u、P t、A g、P d、I r、C uなどが用いられているので、磁気抵抗効果層及び非磁性金属層が形成

された基体を大気中に置いた際に、非磁性金属層の表面は空気中で酸化するか、あるいは、非磁性金属層の表面に $O_2$ 、 $H_2O$ などが吸着する。このため、そのままの状態では非磁性金属層の上にリード層などの他の層を形成するとすれば、リード層と非磁性金属層との間に良好な電氣的接触を保つことができない。そこで、非磁性金属層の上にリード層などの他の層を形成する前に、リード層等を成膜するのと同じ真空装置内で、ドライエッチング（スパッタエッチング、イオンビームエッチング等、ドライプロセス全般を含む）することにより、非磁性金属層の表面酸化膜が除去されている。従来は、このドライエッチングは、C P P構造のヘッドの場合と同様に、クラスターを形成しないエッチング粒子を用い、そのエッチング粒子の入射角を基体の面の法線方向に設定して、行われていた。

【 0 0 1 3 】

10

また、磁気ヘッドの製造以外の種々の用途においても、リフトオフ法を用いたパターン形成方法が用いられている。

【 0 0 1 4 】

【特許文献1】

特開 2 0 0 1 - 2 3 1 3 1 号公報

【特許文献2】

特開 2 0 0 0 - 9 9 9 2 6 号公報

【 0 0 1 5 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前述したC P P構造のヘッド及びL O L構造のヘッドを製造する従来の製造方法では、前記リフトオフ用レジストパターンがアンダーカットを有する断面形状又は逆テーパ状の断面形状などを持つことに起因して、前記非磁性金属層の周縁部等の上に、前記非磁性金属層の表面酸化膜やイオンミリング等のドライエッチングの際の再付着物や前記絶縁層（あるいは、絶縁層と金属層（磁区制御層）との積層）が残ってしまい、これにより磁気抵抗効果層に流れる電流の通路が制限され、電氣的に良好な接触をしている領域が減ってしまう。その結果、従来の製造方法で製造されたヘッドでは、磁気抵抗効果素子の直列抵抗成分が増大し、M R特性の劣化やヘッドの高抵抗化に伴う周波数特性の劣化等などが生ずる。前記リフトオフ用レジストパターンのアンダーカット等の寸法は、リフトオフ時のバリの発生等を避けるために所定寸法以下にすることが困難である。このため、高記録密度化を図るべく磁気抵抗効果素子の寸法を小さくすると、電氣的に良好な接触をしている領域が著しく減り、磁気抵抗効果層に流れる電流の通路が著しく制限され、M R特性の劣化やヘッドの高抵抗化に伴う周波数特性の劣化等などの影響が顕著に現れてしまう。これらの点については、本発明と比較される比較例の説明において、後に詳述する。

30

【 0 0 1 6 】

また、前述したように、前記リフトオフ用レジストパターンのアンダーカット等に起因して、前記非磁性金属層の周縁部（ここでは、トラック幅方向の両側の周縁部）等の上に磁区制御層も残ってしまう。このため、磁区制御層も磁気抵抗効果層上に乗り上げた状態となる。したがって、磁区制御層からのバイアス磁界の一部がフリー層に入らずに両側の磁区制御層の乗り上げ部間を通してバイパスされてしまう。その結果、磁区制御層によるフリー層に対する縦バイアス効果が弱まってしまい、フリー層の磁区制御を十分に行うことができない。前述したように前記リフトオフ用レジストパターンのアンダーカット等の寸法を所定寸法以下にすることが困難であることから、高記録密度化を図るべく磁気抵抗効果素子の寸法を小さくすると、両側の磁区制御層の乗り上げ部間の距離が著しく狭まり、フリー層の磁区制御への影響が顕著に現れてしまう。この点についても、本発明と比較される比較例の説明において、後に詳述する。

40

【 0 0 1 7 】

以上、磁気ヘッドの製造方法を例に挙げて説明したが、磁気ヘッドの製造以外の種々の用途において用いられる、リフトオフ法を利用したパターン形成方法においても、リフトオフ用レジストパターンがアンダーカット等を持つことに起因して、不都合が生ずる場合が

50

ある。すなわち、リフトオフ用レジストパターンをマスクとしてイオンミリング等によりパターンニングした第1の膜の周縁部等の上に、イオンミリング等の際の再付着物や前記第1の膜の周囲に形成した第2の膜などによる不要な形成物が残ってしまうことにより、不都合が生ずる場合がある。

#### 【0018】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、リフトオフ用レジストパターンをマスクとしてドライエッチングによりパターンニングした膜の周縁部等の上に残る不要な形成物を、除去又は減らすことができるパターン形成方法を提供することを目的とする。

#### 【0019】

また、本発明は、リフトオフ用レジストパターンをマスクとしてドライエッチングにより 10  
パターンニングした膜の周縁部等の上に残る不要な形成物を、除去又は減らすことができ、これにより、直列抵抗成分を低減できるという利点及び／又は縦バイアスをより有効にフリー層に印加できるという利点を得ることができる磁気抵抗効果素子及び磁気ヘッドを製造することができる磁気抵抗効果素子及び磁気ヘッドの各製造方法を提供することを目的とする。

#### 【0020】

さらに、本発明は、高記録密度化を図ることができる磁気ディスク装置、及びこれに用いることができるヘッドサスペンションアセンブリを提供することを目的とする。

#### 【0021】

#### 【課題を解決するための手段】

20

前記課題を解決するため、本発明の第1の態様によるパターン形成方法は、基体の一方の面側に成膜された1層以上からなる第1の膜上に、リフトオフ用レジストパターンを形成するリフトオフ用レジストパターン形成段階と、前記リフトオフ用レジストパターンをマスクとしてドライエッチングを行うことにより、前記第1の膜をパターンニングするパターンニング段階と、前記パターンニング段階の後に、前記リフトオフ用レジストパターンが前記第1の膜上に存在する状態で、前記基体の前記一方の面側に、1層以上からなる第2の膜を成膜する成膜段階と、前記リフトオフ用レジストパターンを除去することにより、前記第2の膜の前記リフトオフ用レジストパターン上の部分を除去する除去段階と、前記除去段階の後に、前記基体の前記一方の面側をエッチングするエッチング段階と、を備え、前記エッチング段階は、実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用い、前記基体の 30  
の前記一方の面側に対する前記エッチング粒子の主たる入射角度を、前記基体の前記一方の面の法線方向に対して $60^{\circ}$ 以上 $90^{\circ}$ 以下に設定して、ドライエッチングを行う段階を含むものである。

#### 【0022】

この第1の態様によれば、前記パターンニング段階のドライエッチングの際に、リフトオフ用レジストパターンのアンダーカット等に相当する前記第1の膜上の領域に、再付着物が形成される。また、前記成膜段階において、前記再付着物上に前記第2の膜の一部が乗り上がる。したがって、前記再付着物及びその上への前記第2の膜の乗り上げ部からなる形成物が、前記除去段階の後に、リフトオフ用レジストパターンのアンダーカット等に相当する前記第1の膜上の領域に、形成されることになる。しかしながら、前記第1の態様に 40  
よれば、前記エッチング段階の前記ドライエッチングが行われるので、前記形成物が除去又は減らされる。なお、前記エッチング段階の前記ドライエッチングは、所望の程度（前記形成物が除去又は減らされる程度）行えばよい。

#### 【0023】

前記エッチング段階の前記ドライエッチングを前記入射角度に設定して行うことで、前記形成物を選択的に除去又は減らすことができる傾向（以下、「形成物の除去又は低減の選択性」という。）を高めることができることが、後述する実験等により確認された。これは、エッチング粒子が前記形成物を横から叩くことにより、前記形成物の除去又は低減の選択性（換言すると、凸部を平坦化する平坦化能力）が高まるものと考えられる。前述した従来技術と同様にエッチング粒子の入射角を基体の面の法線方向に設定してドライ 50



エッチングを行うことで、前記形成物を除去又は減らすことも可能であるが、その場合には、前記形成物の除去又は低減の選択性が低くなる。このため、前記形成物を十分に減らそうとすると、前記第1の膜のエッチング量もかなり大きく増えてしまい、前記第1の膜の本来の機能等を阻害したりするなどの不都合が生ずる。これに対し、前記第1の態様では、前記形成物の除去又は低減の選択性を高めることができるので、そのような不都合は生じない。前記形成物の除去又は低減の選択性をより向上させるためには、前記エッチング段階の前記ドライエッチングの前記入射角度を $75^{\circ}$ 以上 $90^{\circ}$ 以下に設定することが好ましく、 $80^{\circ}$ 以上 $90^{\circ}$ 以下に設定することがより好ましく、 $85^{\circ}$ 以上 $90^{\circ}$ 以下に設定することがより一層好ましい。これらは、後述する実験等から判明した。

【0024】

10

ところで、前記第1の態様において、前記エッチング段階は、例えば、前記入射角度を $60^{\circ}$ 以上 $90^{\circ}$ 以下に設定したドライエッチングの前又は後に、実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用いてそのエッチング粒子の入射角度を他の角度（例えば、略 $0^{\circ}$ ）に設定したドライエッチングを含んでもよい。この場合であっても、前記エッチング段階全体としての前記形成物の除去又は低減の選択性は、前記入射角度を $0^{\circ}$ に設定したドライエッチングのみを行う場合に比べて、高まる。

【0025】

なお、前記第1の膜の最上層が金属層でありこの金属層が既に酸化されている場合において、当該金属層の表面酸化膜を除去する必要がある場合、前記エッチング段階によって前記表面酸化膜を除去することも可能である。

20

【0026】

本発明の第2の態様によるパターン形成方法は、前記第1の態様において、前記エッチング段階の前記ドライエッチングは、He、Ne、Ar、Kr及びXeからなる群より選ばれた1種以上からなる単体ガス又は混合ガスを用いたイオンビームエッチングであるものである。

【0027】

この第2の態様は、前記エッチング段階の前記ドライエッチングの具体例を挙げたものである。もっとも、前記第1の態様では、前記ドライエッチングは、必ずしもこの例に限定されるものではない。

【0028】

30

本発明の第3の態様によるパターン形成方法は、基体の一方の面側に成膜された1層以上からなる第1の膜上に、リフトオフ用レジストパターンを形成するリフトオフ用レジストパターン形成段階と、前記リフトオフ用レジストパターンをマスクとしてドライエッチングを行うことにより、前記第1の膜をパターンニングするパターンニング段階と、前記パターンニング段階の後に、前記リフトオフ用レジストパターンが前記第1の膜上に存在する状態で、前記基体の前記一方の面側に、1層以上からなる第2の膜を成膜する成膜段階と、前記リフトオフ用レジストパターンを除去することにより、前記第2の膜の前記リフトオフ用レジストパターン上の部分を除去する除去段階と、前記除去段階の後に、前記基体の前記一方の面側をエッチングするエッチング段階と、を備え、前記エッチング段階は、ガスクラスターイオンビームによるドライエッチングを行う段階を含むものである。

40

【0029】

この第3の態様によれば、前記第1の態様と同様に、前記再付着物及びその上への前記第2の膜の乗り上げ部からなる形成物が、前記除去段階の後に、リフトオフ用レジストパターンのアンダーカット等に相当する前記第1の膜上の領域に、形成されることになる。しかしながら、前記第3の態様によれば、前記エッチング段階でガスクラスターイオンビームによるドライエッチングが行われるので、前記形成物が除去又は減らされる。すなわち、ガスクラスターイオンビームを用いると、クラスターが基板に衝突した後に、クラスターを構成する原子又は分子による多体衝突効果により当該原子又は分子には基板表面に平行な運動量成分が生じるため、平坦化作用により前記形成物が除去又は減らされる。ガスクラスターイオンビームの入射角度は、特に限定されるものではなく、例えば、前記基体

50

の前記一方の面の法線方向に対して略々 $0^{\circ}$ に設定することができる。なお、ガスクラスターイオンビームを用いる場合、その条件を適宜設定することで、前記第1の膜を実質的にエッチングしないことも、前記第1の膜を所望の程度エッチングすることも可能である。

#### 【0030】

ところで、前記第3の態様において、前記エッチング段階は、例えば、前記ガスクラスターイオンビームによるドライエッチングの前又は後に、実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用いてそのエッチング粒子の入射角度を所定の角度（例えば、略 $0^{\circ}$ ）に設定したドライエッチングを含んでもよい。この場合であっても、前記エッチング段階全体としての前記形成物の除去又は低減の選択性は、クラスターを形成しないエッチング粒子を用いて前記入射角度を $0^{\circ}$ に設定したドライエッチングのみを行う場合に比べて、高まる。

#### 【0031】

本発明の第4の態様によるパターン形成方法は、前記第1乃至第3のいずれかの態様において、前記リフトオフ用レジストパターンは、アンダーカットを有する断面形状又は逆テーパ状の断面形状を持つものである。

#### 【0032】

この第4の態様は、リフトオフ用レジストパターンの断面形状の具体例を挙げたものである。もっとも、前記第1乃至第3の態様では、リフトオフ用レジストパターンの断面形状は、必ずしもこの例に限定されるものではない。

20

#### 【0033】

本発明の第5の態様によるパターン形成方法は、前記第1乃至第4のいずれかの態様において、前記エッチング段階の前記ドライエッチングは、前記基体を前記法線と略平行な軸回りに回転させながら行うものである。

#### 【0034】

この第5の態様によれば、基体が法線と略平行な軸回りに回転しながらドライエッチングされる。したがって、前記第1及び第2の態様のように実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用いる場合であっても、前記形成物に対して種々の方向からエッチング粒子が当たるため、種々の方向の側に形成された前記形成物を効率良く減らすことができる。もっとも、前記第1及び第2の態様において、前記第1乃至第2の態様では、例えば所定の方向の側に形成された前記形成物を除去するような場合には、基体を回転させることなく、例えば直線状に揺動等させてもよい。なお、前記第3の態様のようにクラスターイオンビームを用いる場合には、基体を回転させなくても、種々の方向の側に形成された前記形成物を比較的効率良く減らすことができる。勿論、基体を回転させても良い。

30

#### 【0035】

本発明の第6の態様によるパターン形成方法は、前記第1乃至第5のいずれかの態様において、前記第2の膜が絶縁層を含むものである。

#### 【0036】

この第6の態様は、前記第2の膜の具体例を挙げたものである。もっとも、前記第1乃至第5の態様では、前記第2の膜は、必ずしもこの例に限定されるものではない。例えば、前記第2の膜は金属層を含んでいてもよい。また、前記絶縁層の材料としては、 $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などを挙げることができるが、これらに限定されるものではない。

40

#### 【0037】

本発明の第7の態様によるパターン形成方法は、前記第1乃至第6のいずれかの態様において、前記第1の膜の前記基体とは最も反対側の層が金属層であるものである。

#### 【0038】

この第7の態様は、前記第1の膜の基体とは最も反対側の層の具体例を挙げたものであるが、前記第1乃至第6の態様では、前記第1の膜は、必ずしもこの例に限定されるものではない。

#### 【0039】

50

本発明の第 8 の態様による磁気抵抗効果素子の製造方法は、基体の一方の面側に形成された磁気抵抗効果層を有する磁気抵抗効果素子の製造方法であって、前記第 1 乃至第 7 のいずれかの態様によるパターン形成方法を含み、前記第 1 の膜は、前記磁気抵抗効果層を構成する構成層のうちの少なくとも前記基体とは最も反対側の構成層を含むものである。

【 0 0 4 0 】

この第 8 の態様によれば、前記第 1 乃至第 7 のいずれかの態様によるパターン形成方法が用いられているので、前記形成物を除去又は減らすことができる。したがって、前記第 8 の態様による製造方法により製造した磁気抵抗効果素子では、下記の第 1 の利点及び／又は第 2 の利点を得ることができる。

【 0 0 4 1 】

第 1 の利点について説明する。磁気抵抗効果層に流れる電流の通路の前記形成物等による制限が少なくなり、磁気抵抗効果素子の直列抵抗成分が減少する。このため、高記録密度化等を図るべく磁気抵抗効果素子の寸法を小さくしても、MR 特性の劣化やヘッドの高抵抗化に伴う周波数特性の劣化等などの影響を低減することができるという利点を得られる。

10

【 0 0 4 2 】

第 2 の利点について説明する。後述する第 9 の態様のように前記第 2 の膜が磁区制御層を含むと、磁区制御層の磁気抵抗効果層上への乗り上がり部が減らされることになる。したがって、磁区制御層からのバイアス磁界がより多くフリー層に入る。このため、高記録密度化等を図るべく磁気抵抗効果素子の寸法を小さくしても、縦バイアスを有効にフリー層に印加することができ、磁区制御層によるフリー層に対する縦バイアス効果を向上させることができるという利点を得られる。

20

【 0 0 4 3 】

本発明の第 9 の態様による磁気抵抗効果素子の製造方法は、前記 8 の態様において、前記第 1 の膜がフリー層を含み、前記第 2 の膜が前記フリー層の磁区を制御する磁区制御層を含むものである。

【 0 0 4 4 】

この第 9 の態様によれば、前記第 8 の態様に関して説明した第 2 の利点を得ることができる。

【 0 0 4 5 】

本発明の第 10 の態様による磁気抵抗効果素子の製造方法は、前記第 8 又は 9 の態様において、前記磁気抵抗効果素子は、前記磁気抵抗効果層の有効領域にその膜面と略々垂直な方向に電流を流すための一対の電極を有するものである。

30

【 0 0 4 6 】

この第 10 の態様は、本発明による製造方法を、C P P 構造の磁気抵抗効果素子の製造方法に適用した例を挙げたものである。

【 0 0 4 7 】

本発明の第 11 の態様による磁気抵抗効果素子の製造方法は、前記第 10 の態様において、前記磁気抵抗効果層は、フリー層と、該フリー層の一方の面側に形成されたトンネルバリア層又は非磁性金属層と、前記トンネルバリア層又は前記非磁性金属層の前記フリー層とは反対の側に形成されたピン層と、前記ピン層の前記トンネルバリア層又は前記非磁性金属層とは反対の側に形成されたピン層とを含むものである。

40

【 0 0 4 8 】

この第 11 の態様は、本発明による製造方法を、T M R 素子又は C P P 構造を持つ G M R 素子の製造方法に適用した例を挙げたものである。

【 0 0 4 9 】

本発明の第 12 の態様による磁気抵抗効果素子の製造方法は、前記第 8 又は 9 の態様において、前記磁気抵抗効果素子は、前記磁気抵抗効果層の有効領域にその膜面と略々平行な方向に電流を流すための一対のリード層を備え、前記一対のリード層は、前記磁気抵抗効果層の前記基体とは反対側において前記前記磁気抵抗効果層の一部上まで延在するオーバ

50

ーレイ部を有するものである。

【 0 0 5 0 】

この第 1 2 の態様は、本発明による製造方法を、L O L 構造の磁気抵抗効果素子の製造方法に適用した例を挙げたものである。

【 0 0 5 1 】

本発明の第 1 3 の態様による磁気ヘッドの製造方法は、基体の一方の面側に形成された磁気抵抗効果層を有する磁気抵抗効果素子を備えた磁気ヘッドの製造方法であって、前記第 8 乃至第 1 2 のいずれかの態様による製造方法を含むものである。

【 0 0 5 2 】

この第 1 3 の態様によれば、前記第 8 の態様に関して説明した第 1 の利点及び／又は第 2 の利点を得ることができる磁気抵抗効果素子を有する磁気ヘッドを製造することができ、ひいては、高記録密度化を図っても、MR 特性の劣化やヘッドの高抵抗化に伴う周波数特性の劣化やフリー層への縦バイアス効果の低下などの影響が少ない磁気ヘッドを製造することができる。

【 0 0 5 3 】

本発明の第 1 4 の態様による磁気ヘッドの製造方法は、前記第 1 3 の態様において、前記パターニング段階により少なくとも前記磁気抵抗効果素子のハイト方向の一方側の端部が規定されるものである。

【 0 0 5 4 】

本発明の第 1 5 の態様による磁気ヘッドの製造方法は、前記第 1 3 又は第 1 4 の態様において、前記パターニング段階により少なくとも前記磁気抵抗効果素子のトラック幅方向の両側の端部が規定されるものである。

【 0 0 5 5 】

前記第 1 4 の態様は前記パターニング段階により磁気抵抗効果素子のハイト方向の一方側の端部が規定される例を挙げたものであり、前記第 1 5 の態様は前記パターニング段階により磁気抵抗効果素子のトラック幅方向の両側の端部が規定される例を挙げたものである。勿論、前記パターニング段階により、磁気抵抗効果素子のハイト方向の一方側の端部及び磁気抵抗効果素子のトラック幅方向の両側の端部の全てが、同時に規定されてもよい。また、前記磁気抵抗効果素子のハイト方向の一方側の端部を規定するためのパターニング段階並びにこれに引き続く成膜段階及び除去段階と、前記磁気抵抗効果素子のトラック幅方向の両側の端部を規定するためのパターニング段階並びにこれに引き続く成膜段階及び除去段階とを、別々に行い、これらの段階の後に、1 度のドライエッチングで、トラック幅方向の側及びハイト方向の側にそれぞれ形成された前記形成物を、一括して除去してもよい。

【 0 0 5 6 】

本発明の第 1 6 の態様によるヘッドサスペンションアセンブリは、前記第 1 3 乃至第 1 5 のいずれかの態様による製造方法により製造された磁気ヘッドと、該磁気ヘッドが先端部付近に搭載され前記磁気ヘッドを支持するサスペンションと、を備えたものである。

【 0 0 5 7 】

この第 1 6 の態様によれば、前記第 1 3 乃至第 1 5 のいずれかの態様による製造方法により製造された磁気ヘッドが用いられているので、磁気ディスク装置等の高記録密度化等を図ることができる。

【 0 0 5 8 】

本発明の第 1 7 の態様による磁気ディスク装置は、前記第 1 6 の態様によるヘッドサスペンションアセンブリと、該アセンブリを支持するアーム部と、該アーム部を移動させて磁気ヘッドの位置決めを行うアクチュエータと、を備えたものである。

【 0 0 5 9 】

この第 1 7 の態様によれば、前記第 1 4 の態様によるヘッドサスペンションアセンブリが用いられているので、高記録密度化等を図ることができる。

【 0 0 6 0 】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明によるパターン形成方法、これを用いた磁気抵抗効果素子及び磁気ヘッドの製造方法、並びに、ヘッドサスペンションアセンブリ及び磁気ディスク装置について、図面を参照して説明する。

## 【0061】

## 【第1の実施の形態】

## 【0062】

図1は、本発明の第1の実施の形態による磁気ヘッド製造方法により製造される磁気ヘッドを模式的に示す概略斜視図である。図2は、図1に示す磁気ヘッドのTMR素子2及び誘導型磁気変換素子3の部分を模式的に示す拡大断面図である。図3は、図2中のA-A' 矢視概略図である。図4は、図2中のTMR素子2付近を更に拡大した拡大図である。図5は、図3中のTMR素子2付近を更に拡大した拡大図である。理解を容易にするため、図1乃至図5に示すように、互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸を定義する（後述する図についても同様である。）。また、Z軸方向のうち矢印の向きを+Z方向又は+Z側、その反対の向きを-Z方向又は-Z側と呼び、X軸方向及びY軸方向についても同様とする。X軸方向が磁気記録媒体の移動方向と一致している。Z軸方向がTMR素子2のトラック幅方向と一致している。

## 【0063】

本発明の第1の実施の形態による磁気ヘッド製造方法により製造される磁気ヘッドは、図1に示すように、基体としてのスライダ1と、再生用磁気ヘッド素子として用いられる磁気抵抗効果素子としてのTMR素子2と、記録用磁気ヘッド素子としての誘導型磁気変換素子3と、DLC（ダイヤモンドライクカーボン）膜等からなる保護膜4とを備え、複合型磁気ヘッドとして構成されている。もっとも、本発明により製造される磁気ヘッドは、例えば、TMR素子2のみを備えていてもよい。また、本例では、素子2、3はそれぞれ1個ずつ設けられているが、その数は何ら限定されるものではない。

## 【0064】

スライダ1は磁気記録媒体対向面側にレール部11、12を有し、レール部11、12の表面がABS（エアベアリング面）を構成している。図1に示す例では、レール部11、12の数は2本であるが、これに限らない。例えば、1～3本のレール部を有してもよいし、ABSはレール部を持たない平面であってもよい。また、浮上特性改善等のために、ABSに種々の幾何学的形状が付されることもある。本発明による磁気ヘッドは、いずれのタイプのスライダを有していてもよい。

## 【0065】

本例では、保護膜4はレール部11、12の表面にのみ設けられ、保護膜4の表面がABSを構成している。もっとも、保護膜4は、スライダ1の磁気記録媒体対向面の全面に設けてもよい。また、保護膜4を設けることが好ましいが、必ずしも保護膜4を設ける必要はない。

## 【0066】

TMR素子2及び誘導型磁気変換素子3は、図1に示すように、レール部11、12の空気流出端部TRの側に設けられている。記録媒体移動方向は、図中のX軸方向と一致しており、磁気記録媒体が高速移動した時に動く空気の流出方向と一致する。空気は流入端部LEから入り、流出端部TRから流出する。スライダ1の空気流出端部TRの端面には、TMR素子2に接続されたボンディングパッド5a、5b及び誘導型磁気変換素子3に接続されたボンディングパッド5c、5dが設けられている。

## 【0067】

TMR素子2及び誘導型磁気変換素子3は、図2及び図3に示すように、スライダ1を構成するセラミック基体15の上に設けられた下地層16の上に、積層されている。セラミック基体15は、通常、アルチック（ $Al_2O_3-TiC$ ）又はSiC等で構成される。 $Al_2O_3-TiC$ を用いる場合、これは導電性があるので、下地層16として、例えば $Al_2O_3$ からなる絶縁膜が用いられる。

下地層 16 は、場合によっては設けなくてもよい。

【 0 0 6 8 】

TMR 素子 2 は、図 4 及び図 5 に示すように、下地層 16 上に形成された下部電極 21 と、下部電極 21 の上側（基体 15 と反対側）に形成された上部電極 31 と、電極 21, 31 間に下部電極 21 側から順に積層された、下部金属層（下層）22、下部金属層（上層）23、ピン層 24、ピンド層 25、トンネルバリア層 26、フリー層 27、保護膜となる非磁性金属層としての上部金属層（キャップ層）28、及び、上部電極 31 の下地層としての上部金属層 29 と、を備えている。ピン層 24、ピンド層 25、トンネルバリア層 26 及びフリー層 27 が、磁気抵抗効果層を構成している。実際の TMR 素子 2 は、図示されたような層数の膜構造ではなく、より多層の膜構造を有するのが一般的であるが、図 10 に示す磁気ヘッドでは、説明の簡略化のため、TMR 素子 2 の基本動作に必要な最少膜構造を示してある。なお、図 4 において、MRh は、TMR 素子 2 が規定する MR ハイトを示している。図 5 において、TW は、TMR 素子 2 が規定するトラック幅を示している。

【 0 0 6 9 】

本例では、下部電極 21 及び上部電極 31 は、下部磁気シールド及び上部磁気シールドとしてそれぞれ兼用されている。電極 21, 31 は、例えば、NiFe などの磁性材料で形成されている。図面には示していないが、これらの電極 21, 31 は、前述したボンディングパッド 5a, 5b にそれぞれ電気的に接続されている。なお、下部電極 21 及び上部電極 31 とは別に、下部磁気シールド及び上部磁気シールドを設けてもよいことは、言うまでもない。

20

【 0 0 7 0 】

下部金属層 22 は、導電体となっており、例えば、Ta、Ru、Rh、Au、Pt、Ag、Pd、Ir、Cu などと構成される。下部金属層 23 は、導電体となっており、例えば、NiFe 層などで構成される。本例では、上側の下部金属層 23 は磁気抵抗効果層の部分のみに形成され、下側の下部金属層 22 は Z 軸方向に電極 21 上に広く延在しているが、上側の下部金属層 23 も Z 軸方向に広く延在させてもよいし、あるいは、下側の下部金属層 22 も磁気抵抗効果層の部分のみに形成してもよい。あるいは、下部金属層 22, 23 を、Z 軸方向のみならず Y 軸方向にも電極 21 上に広く延在させてもよい。

【 0 0 7 1 】

ピン層 24 は、反強磁性層で構成され、例えば、PtMn、IrMn、RuRhMn、FeMn、NiMn、PdPtMn、RhMn 又は CrMnPt などの Mn 系合金で形成することが好ましい。ピンド層 25 及びフリー層 27 は、それぞれ強磁性層で構成され、例えば、Fe、Co、Ni、FeCo、NiFe、CoZrNb 又は FeCoNi などの材料で形成される。ピンド層 25 は、ピン層 24 との間の交換結合によってその磁化方向が所定方向に固定されている。一方、フリー層 27 は、基本的に磁気情報である外部磁場に応答して自由に磁化の向きが変わるようになっている。なお、本例では、下部電極 21 側からピン層 24、ピンド層 25、トンネルバリア層 26、フリー層 27 の順に配置されているが、下部電極 21 側からフリー層 27、トンネルバリア層 26、ピンド層 25、ピン層 24 の順に配置してもよい。トンネルバリア層 26 は、例えば、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、NiO、GdO、MgO、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、MoO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub> 又は WO<sub>2</sub> などの材料で形成される。

40

【 0 0 7 2 】

キャップ層としての上部金属層（非磁性金属層）28 は、例えば、Ta、Ru、Rh、Au、Pt、Ag、Pd、Ir、Cu の単体、又は、これらのいずれか 2 種以上の組み合わせからなる合金、を用いた、単層膜又は多層膜で形成される。本例では、上部金属層 28 は後述するように製造時に層 23～27 と一緒にミリングされ、上部金属層 28 は層 23～27 と実質的にちょうど重なっている。

【 0 0 7 3 】

上部電極の下地層となる上部金属層 29 は、導電体となっており、Ta、Ti などの非磁性金属材料で形成される。本例では、上部金属層 29 は、磁気シールドギャップ（電極 21, 31 間のギャップ）を所望の間隔に保つために、設けられている。もっとも、必ずし

50

も上部金属層 29 を設ける必要はない。

【 0074 】

図 3 及び図 5 に示すように、前記磁気抵抗効果層の Z 軸方向の両側には、フリー層 27 に磁区制御のためのバイアス磁界を付与する磁区制御層 32 が形成されている。磁区制御層 32 は、例えば、Cr/CoPt (コバルト白金合金)、Cr/CoCrPt (コバルトクロム白金合金)、TiW/CoPt、TiW/CoCrPt などの硬磁性材料で形成される。あるいは、磁区制御層 32 は、例えば、軟磁性層と反強磁性層を積層し交換結合を使った層でもよい。磁区制御層 32 の下側には、 $Al_2O_3$  又は  $SiO_2$  などからなる絶縁層 34 が形成されている。絶縁層 34 は、磁区制御層 32 と層 23 ~ 28 の端面との間にも介在し、層 23 ~ 28 が磁区制御層 32 によって電氣的に短絡しないようになっている。 10

【 0075 】

また、図 2 及び図 4 に示すように、磁区制御層 32 が形成されていない領域には、下部金属層 22 と上部金属層 29 間において、 $Al_2O_3$  又は  $SiO_2$  などからなる絶縁層 30 が形成されている。

【 0076 】

誘導型磁気変換素子 3 は、図 2 及び図 3 に示すように、当該素子 3 に対する下部磁性層としても兼用される前記上部電極 31、上部磁性層 36、コイル層 37、アルミナ等からなるライトギャップ層 38、ノボラック樹脂等の有機樹脂で構成された絶縁層 39 及びアルミナ等からなる保護層 40 などを有している。磁性層 36 の材質としては、例えば、NiFe 又は FeN などが用いられる。下部磁性層としても兼用された上部電極 31 及び上部磁性層 36 の先端部は、微小厚みのアルミナなどのライトギャップ層 38 を隔てて対向する下部ポール部 31a 及び上部ポール部 36a となっており、下部ポール部 31a 及び上部ポール部 36a において磁気記録媒体に対して情報の書き込みを行なう。下部磁性層としても兼用された上部電極 31 及び上部磁性層 36 は、そのヨーク部が下部ポール部 31a 及び上部ポール部 36a とは反対側にある結合部 41 において、磁気回路を完成するように互いに結合されている。絶縁層 39 の内部には、ヨーク部の結合部 41 のまわりを渦巻状にまわるように、コイル層 37 が形成されている。コイル層 37 の両端は、前述したボンディングパッド 5c、5d に電氣的に接続されている。コイル層 37 の巻数及び層数は任意である。また、誘導型磁気変換素子 3 の構造も任意でよい。上部電極 31 は、誘導型磁気変換素子 3 の下部磁性層と TMR 素子 2 の上部電極の役割を分けるために、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  などの絶縁層を挟んで 2 層に分けても良い。 20 30

【 0077 】

次に、本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法として、図 1 乃至図 5 に示す磁気ヘッドの製造方法の一例について、説明する。

【 0078 】

まず、ウエハ工程を行う。すなわち、基体 15 となるべき  $Al_2O_3-TiC$  又は  $SiC$  等のウエハ 101 を用意し、薄膜形成技術等を用いて、ウエハ 101 上のマトリクス状の多数の磁気ヘッドの形成領域にそれぞれ、前述した各層を前述した構造となるように形成する。 40

【 0079 】

このウエハ工程の概要について、図 6 乃至図 19 を参照して説明する。図 6 乃至図 19 はウエハ工程を構成する各工程を模式的に示す図である。図 6 (a)、図 7 (a)、図 12 (a) 及び図 19 (a) はそれぞれ概略平面図である。図 7 (a) において、TW は、TMR 素子 2 が規定するトラック幅を示している。図 6 (b) は図 6 (a) 中の C-D 線に沿った概略断面図、図 7 (b) は図 7 (a) 中の C-D 線に沿った概略断面図、図 12 (b) は図 12 (a) 中の E-F 線に沿った概略断面図、図 19 (b) は図 19 (a) 中の E-F 線に沿った概略断面図である。図 8 乃至図 11 はそれぞれ、図 6 に示す状態から図 7 に示す状態に至る各工程を詳細に示す概略拡大断面図である。図 13 乃至図 16 はそれぞれ、図 7 に示す状態から図 12 に示す状態に至る各工程を詳細に示す概略拡大断面図で 50

ある。図 1 7 及び図 1 8 はそれぞれ、図 1 2 及び図 1 6 に示す状態の後の工程を示す概略拡大断面図である。

【 0 0 8 0 】

ウエハ工程では、まず、ウエハ 1 0 1 上に、下地層 1 6、下部電極 2 1、下部金属層 2 2、下部金属層 2 3、ピン層 2 4、ピンド層 2 5、トンネルバリア層 2 6、フリー層 2 7 及び上部金属層 2 8 を、順次積層する (図 6)。このとき、下部電極 2 1 は例えばめっき法により形成し、他の層は例えばスパッタ法で形成する。その後、この状態の基板が一旦大気中に置かれる。このとき、磁気抵抗効果層の上面 (本実施の形態では、フリー層 2 7 の上面) は、上部金属層 2 8 により保護されるので、酸化されない。しかし、上部金属層 2 8 の上面に酸化膜 5 0 が形成されることになる (図 6)。

10

【 0 0 8 1 】

次に、第 1 のドライエッチングとしてのイオンミリングにより、下部金属層 2 3、ピン層 2 4、ピンド層 2 5、トンネルバリア層 2 6、フリー層 2 7、上部金属層 2 8 及び酸化膜 5 0 を、部分的に除去して、パターニングする。次いで、この除去した部分に、リフトオフ法により、絶縁層 3 4 及び磁区制御層 3 2 を形成する (図 7)。

【 0 0 8 2 】

この工程について、図 8 乃至図 1 1 を参照して詳細に説明する。まず、図 6 に示す状態の基板上 (本実施の形態では、表面酸化膜 5 0 上) に、第 1 のリフトオフ用レジストパターン 7 1 を形成する (図 8)。本実施の形態では、第 1 のリフトオフ用レジストパターン 7 1 として、アンダーカット 7 1 a を有する断面形状を持つ 2 層レジストが用いられている。20  
もっとも、第 1 のリフトオフ用レジストパターン 7 1 として、例えば、単層レジスト法によって形成したアンダーカットを有する断面形状を持つレジストを用いてもよいし、単層レジスト法等によって形成した逆テーパ状の断面形状を持つレジストを用いてもよい。この点は、後述する第 2 のリフトオフ用レジストパターン 8 1、及び、後述する第 3 の実施の形態で用いるリフトオフ用レジストパターン 1 1 1、1 2 1 についても、同様である。

【 0 0 8 3 】

次に、第 1 のリフトオフ用レジストパターン 7 1 をマスクとして、第 1 のドライエッチングとしてのイオンミリング (他のドライエッチングでもよい。) を行うことにより、層 2 3 ~ 2 8、5 0 をパターニングする (図 9)。このパターニングにより、TMR 素子 2 の 30  
トラック幅 TW が規定されて、TMR 素子 2 のトラック幅方向の両側の端部が規定される。このパターニングの際に、アンダーカット 7 1 a に相当する表面酸化膜 5 0 上の領域には、図 9 に示すように、層 2 3 ~ 2 8、5 0 のイオンミリングによる再付着物 7 2 が形成される。なお、図 9 において、領域 R 3 は、アンダーカット 7 1 a に相当する領域のうち +Z 側 (トラック幅方向の一方側) の領域を示している。この点は、図 5、図 7、図 1 0、図 1 1、図 1 9 についても同様である。図 5、図 7 及び図 1 9 において、領域 R 2 は、アンダーカット 7 1 a に相当する領域のうち -Z 側 (トラック幅方向の他方側) の領域を示している。

【 0 0 8 4 】

次いで、第 1 のリフトオフ用レジストパターン 7 1 が表面酸化膜 5 0 上に存在する状態で 40  
、基板 1 0 1 上に絶縁層 3 4 及び磁区制御層 3 2 をスパッタ法等により順次成膜する (図 1 0)。このとき、アンダーカット 7 1 a に相当する表面酸化膜 5 0 上の領域には (すなわち、再付着物 7 2 上には)、図 1 0 に示すように、絶縁層 3 4 及び磁区制御層 3 2 の一部 (以下、「乗り上げ部」と呼ぶ。) が乗り上がる。

【 0 0 8 5 】

このように、第 1 のリフトオフ用レジストパターン 7 1 のアンダーカット 7 1 a に相当する表面酸化膜 5 0 上の領域には、再付着物 7 2、並びに、絶縁層 3 4 及び磁区制御層 3 2 の乗り上げ部による形成物が形成される。

【 0 0 8 6 】

その後、第 1 のリフトオフ用レジストパターン 7 1 を除去することにより、絶縁層 3 4 及 50



び磁区制御層 3 2 の第 1 のリフトオフ用レジストパターン 7 1 上の部分を除去する ( 図 1 1 ) 。 図 1 1 は図 7 と同じ状態を示している。

【 0 0 8 7 】

次に、第 2 のドライエッチングとしてのイオンミリングにより、TMR 素子 2 のハイト方向に関して必要な幅 ( Y 軸方向の幅 ) を持つとともに所定長さだけ Z 軸方向に延びる帯状部分を残して、下部金属層 2 3 、ピン層 2 4 、ピンド層 2 5 、トンネルバリア層 2 6 、フリー層 2 7 、上部金属層 2 8 、表面酸化膜 5 0 、磁区制御層 3 2 及び絶縁層 3 4 を、部分的に除去して、パターニングする。次いで、この除去した部分に、リフトオフ法により、絶縁層 3 0 を形成する ( 図 1 2 ) 。

【 0 0 8 8 】

この工程について、図 1 3 乃至図 1 6 を参照して詳細に説明する。まず、図 7 及び図 1 1 に示す状態の基板上に、第 2 のリフトオフ用レジストパターン 8 1 を形成する ( 図 1 3 )

10

【 0 0 8 9 】

次に、第 2 のリフトオフ用レジストパターン 8 1 をマスクとして、第 2 のドライエッチングとしてのイオンミリング ( 他のドライエッチングでもよい。 ) を行うことにより、層 2 3 ~ 2 8 、 5 0 、 3 2 、 3 4 をパターニングする ( 図 1 4 ) 。 このパターニングにより、TMR 素子 2 のハイト方向の一方の端部 ( 本実施の形態では、 - Y 側の端部、すなわち、ABS と反対側の端部 ) が規定される。このパターニングの際に、第 2 のリフトオフ用レジストパターン 8 1 のアンダーカット 8 1 a に相当する表面酸化膜 5 0 等の上の領域には、図 1 4 に示すように、層 2 3 ~ 2 8 、 5 0 、 3 2 、 3 4 のイオンミリングによる再付着物 8 2 が形成される。なお、図 1 4 において、領域 R 1 は、アンダーカット 8 1 a に相当する領域のうち - Y 側 ( ABS と反対側 ) の領域を示している。この点は、図 4 、図 1 2 、図 1 5 ~ 図 1 8 についても同様である。

20

【 0 0 9 0 】

次いで、第 2 のリフトオフ用レジストパターン 8 1 が基板上に存在する状態で、基板 1 0 1 上に絶縁層 3 0 をスパッタ法等により成膜する ( 図 1 5 ) 。 このとき、アンダーカット 8 1 a に相当する表面酸化膜 5 0 等の上の領域には ( すなわち、再付着物 8 2 上には ) 、図 1 5 に示すように、絶縁層 3 0 の一部 ( 以下、「乗り上げ部」と呼ぶ。 ) が乗り上がる。

30

【 0 0 9 1 】

このように、第 2 のリフトオフ用レジストパターン 8 1 のアンダーカット 8 1 a に相当する表面酸化膜 5 0 上等の領域には、再付着物 8 2 及び絶縁層 3 0 の乗り上げ部による形成物が形成される。

【 0 0 9 2 】

その後、第 2 のリフトオフ用レジストパターン 8 1 を除去することにより、絶縁層 3 0 の第 2 のリフトオフ用レジストパターン 8 1 上の部分を除去する ( 図 1 6 ) 。 図 1 6 は図 1 2 と同じ状態を示している。

【 0 0 9 3 】

次に、図 1 2 及び図 1 6 に示す状態の基板 1 0 1 の上面側をエッチングするエッチング工程を行う。このエッチング工程では、図 1 7 に示すように、実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用い、基板 1 0 1 の上面側に対する前記エッチング粒子の主たる入射角度  $\theta$  を、基板 1 0 1 の上面の法線 P の方向に対して  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定して、ドライエッチングを行う。本実施の形態では、このドライエッチングとして、通常のイオンビームエッチング ( すなわち、実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用いたイオンビームエッチング ) を行う。このとき、He、Ne、Ar、Kr 及び Xe からなる群より選ばれた 1 種以上からなる単体ガス又は混合ガスを用いることが好ましい。もっとも、本発明では、前記エッチング工程で行う実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用いたドライエッチングは、イオンビームエッチングに限定されるものではない。前記形成物 ( 再付着物 7 2 、 8 2 、絶縁層 3 4 及び磁区制御層 3 2 の乗り上げ部、及

40

50

び、絶縁層 30 の乗り上げ部) の除去又は低減の選択性 (換言すると、凸部を平坦にする平坦化能力) をより向上させるためには、前記入射角度  $\theta$  を  $75^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定することが好ましく、 $80^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定することがより好ましく、 $85^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定することがより一層好ましい。

【 0 0 9 4 】

入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定したイオンビームエッチングは、法線 P とほぼ平行な軸回りに基板 101 を回転させながら行うことが好ましいが、必ずしも基板 101 を回転させる必要はない。

【 0 0 9 5 】

本実施の形態では、入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定したイオンビームエッチングは、上部金属層 29 を形成するのと同じ真空装置内で、前記形成物が除去されるとともに前記形成物の下及びその他の領域に存在する表面酸化膜 50 が除去される程度まで、行う。もっとも、例えば、前記形成物が除去され前記形成物下の表面酸化膜 50 が残る程度まで、入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定したイオンビームエッチングを行ってもよい。この場合、表面酸化膜 50 を除去するために、入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定したイオンビームエッチングの後に、例えば、エッチング粒子の主たる入射角度  $\theta$  を他の角度 (例えば、略  $0^\circ$ ) に設定したドライエッチング (例えば、イオンビームエッチング) を行ってもよい。この場合、エッチング粒子の主たる入射角度  $\theta$  を他の角度 (例えば、略  $0^\circ$ ) に設定したドライエッチングを、上部金属層 29 を形成するのと同じ真空装置内で行うことにより、入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定したイオンビームエッチングを、上部金属層 29 を形成するのとは別の真空装置内で行うこともできる。これは、入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定したイオンビームエッチングによって前記形成物が除去又は低減された後に、一旦大気暴露されて表面酸化膜が形成されても、その表面酸化膜は、エッチング粒子の主たる入射角度  $\theta$  を他の角度 (例えば、略  $0^\circ$ ) に設定したドライエッチングによって除去することができるためである。なお、前述した順序とは逆に、エッチング粒子の主たる入射角度  $\theta$  を他の角度 (例えば、略  $0^\circ$ ) に設定したドライエッチングを行った後に、入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定したイオンビームエッチングを行ってもよい。

【 0 0 9 6 】

本実施の形態では、前述した入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定したイオンビームエッチングによって、図 18 に示すように、前記形成物 (再付着物 72、82、絶縁層 34 及び磁区制御層 32 の乗り上げ部、及び、絶縁層 30 の乗り上げ部)、並びに、前記形成物下及びその他の領域に存在していた表面酸化膜 50 が、除去される。なお、図 18 は XY 平面と平行な平面に沿った断面を示しているので、図 18 には、領域 R2、R3 上の形成物 (再付着物 72、絶縁層 34 及び磁区制御層 32 の乗り上げ部) の除去後の様子は現れていないが、その除去後の様子は、後述する図 19 等に現れている。

【 0 0 9 7 】

このとき、前述したように入射角度  $\theta$  が  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定されたことによって、前記形成物の除去又は低減の選択性が高まる。これは、エッチング粒子が前記形成物を横から叩くことにより、前記形成物の除去又は低減の選択性 (換言すると、凸部を平坦にする平坦化能力) が高まるものと考えられる。また、本実施の形態では、次の理由によっても、前記形成物の除去又は低減の選択性が高まるものと考えられる。すなわち、イオンビームの入射角度  $\theta$  が略  $0^\circ$  である場合には、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  等の絶縁膜のエッチングレートは金属のエッチングレートに対して低いが、イオンビームの入射角度  $\theta$  が  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下である場合には、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  等の絶縁膜のエッチングレートは金属のエッチングレートと大差がないかあるいは金属のエッチングレートより高くなる。そして、前記形成物には絶縁層 34 及び絶縁層 30 の乗り上げ部が含まれる一方、上部金属層 28 は金属からなる。したがって、絶縁物と金属とのエッチングレートの関係からも、前記形成物の除去又は低減の選択性が高まるものと考えられる。

【 0 0 9 8 】

その後、図 18 に示す状態の基板 101 上に、上部金属層 29 がスパッタ法等により形成され、更に、メッキ法等により上部電極 31 を形成する（図 19）。

【 0099 】

最後に、ギャップ層 38、コイル層 37、絶縁層 39、上部磁性層 36 及び保護膜 40 を形成し、更に電極 5a ~ 5d 等を形成する。これにより、ウエハ工程が完了する。

【 0100 】

次に、ウエハ工程が完了したウエハに対して、公知の工程を経て磁気ヘッドを完成させる。簡単に説明すると、前記ウエハから、基体上に複数の磁気ヘッドの部分が一列状に配列された各バー（バー状磁気ヘッド集合体）切り出す。次いで、このバーに対して、スロートハイト、MRハイト等を設定するために、そのABS側にラッピング処理（研磨）を施す。次に、ABS側に保護膜 4 を形成し、更に、エッチング等によりレール 11、12 を形成する。最後に、機械加工により切断してバーを個々の磁気ヘッドに分離する。これにより、本実施の形態による磁気ヘッドが完成する。

【 0101 】

なお、本実施の形態はTMRヘッドの例であるが、本実施の形態において、トンネルバリア層 26 に代えてCu、Au又はAgなどの非磁性金属層を形成することで、CPP-GMRヘッドを構成してもよい。

【 0102 】

ここで、本実施の形態による製造方法と比較される第1の比較例について、図 20 乃至図 24 を参照して説明する。図 20 乃至図 22 は、この第1の比較例による製造方法の一部の各工程を模式的に示す図である。図 20 及び図 21 は、それぞれ図 17 及び図 18 に対応する概略拡大断面図である。図 22 (a) は概略平面図、図 22 (b) は図 22 (a) 中のE-F線に沿った概略断面図である。

図 22 は図 12 に対応している。図 23 及び図 24 は、この第1の比較例による製造方法により製造される磁気ヘッドのTMR素子 2 の部分を模式的に示す拡大断面図である。図 23 及び図 24 は、それぞれ図 4 及び図 5 に対応している。図 20 乃至図 24 において、図 1 乃至図 22 中の要素と同一又は対応する要素には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。

【 0103 】

この第1の比較例による製造方法は、従来技術に準じて、前述した本実施の形態による製造方法を次のように変形したものである。すなわち、この第1の比較例による製造方法が前述した第1の実施の形態による製造方法と異なる所は、前記エッチング工程で、図 17 に示すように入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定した通常のイオンビームエッチングに代えて、図 20 に示すように入射角度  $\theta$  を  $0^\circ$  に設定した通常のイオンビームエッチングを行う点のみである。

【 0104 】

前記形成物（再付着物 72、82、絶縁層 34 及び磁区制御層 32 の乗り上げ部、及び、絶縁層 30 の乗り上げ部）が形成されていない領域の表面酸化膜 50 がちょうど除去される程度まで、入射角度  $\theta$  を  $0^\circ$  に設定した前記イオンビームエッチングを行うと、図 21 に示すように、前記形成物の一部は除去されるものの、前記形成物の他の部分が残るとともに、前記形成物下の表面酸化膜 50 が残る。これは、エッチング粒子が前記形成物を上から叩くことにより、前記形成物の除去又は低減の選択性（すなわち、平坦化能力）が低いためであると考えられる。また、イオンビームの入射角度  $\theta$  が略  $0^\circ$  である場合には、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  等の絶縁膜のエッチングレートは金属のエッチングレートに対して低いので、これによっても前記形成物の除去又は低減の選択性が低くなるためであると考えられる。

【 0105 】

したがって、図 21 に示す状態の基板 101 上に、上部金属層 29 及び上部電極 31 を形成すると、図 22 に示すようになる。このため、この第1の比較例による製造方法により製造された磁気ヘッドでは、図 23 及び図 24 に示すように、前述した領域 R1 ~ R3 に

、表面酸化膜 50、再付着物 72、82 及び絶縁層 30、34 などが残ってしまい、これらによって、磁気抵抗効果層に流れる電流の通路が制限され、電氣的に良好な接触をしている領域が減ってしまう。その結果、TMR 素子 2 の直列抵抗成分が増大し、これにより、MR 特性の劣化やヘッドの高抵抗化に伴う周波数特性の劣化等などが生ずる。領域 R1 ~ R3 の幅は、前述した第 1 のリフトオフ用レジストパターン 71、81 のアンダーカット 71a、81a の寸法により定まる。したがって、リフトオフ時のバリの発生等を避けるためには、領域 R1 ~ R3 の幅を所定寸法（例えば、数十 nm）以下にすることは困難である。このため、高記録密度化を図るべく TMR 素子 2 の寸法を小さくする（例えば、MR ハイト MRh を 100 nm 以下にしようとする）と、電氣的に良好な接触をしている領域が著しく減り、磁気抵抗効果層に流れる電流の通路が著しく制限され、MR 特性の劣化やヘッドの高抵抗化に伴う周波数特性の劣化等などの影響が顕著に現れてしまう。

#### 【 0106 】

また、この第 1 の比較例による製造方法により製造された磁気ヘッドでは、図 24 に示すように、領域 R2、R3 に、磁区制御層 32 が乗り上げている。したがって、磁区制御層 32 からのバイアス磁界の一部がフリー層 27 に入らずに両側の磁区制御層 32 の乗り上げ部間を通してバイパスされてしまう。その結果、磁区制御層 32 によるフリー層 27 に対する縦バイアス効果が弱まってしまい、フリー層 27 の磁区制御を十分に行うことができない。前述したように領域 R2、R3 の幅は所定寸法以下にすることが困難であるため、高記録密度化を図るべく TMR 素子 2 の寸法を小さくすると、両側の磁区制御層 32 の乗り上げ部間の距離が著しく狭まり、フリー層 27 の磁区制御への影響が顕著に現れてしまう。

#### 【 0107 】

これに対し、前述した本実施の形態による製造方法では、前述したように、前記エッチング工程において、図 17 に示すように入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定したイオンビームエッチングを行う。これにより、図 18 に示すように、前記形成物（再付着物 72、82、絶縁層 34 及び磁区制御層 32 の乗り上げ部、及び、絶縁層 30 の乗り上げ部）、並びに、前記形成物下及びその他の領域に存在していた表面酸化膜 50 が、除去される。したがって、本実施の形態による製造方法で製造した図 1 乃至図 5 に示す磁気ヘッドでは、磁気抵抗効果層に流れる電流の通路が制限されず、電氣的に良好な接触をしている領域が減ってしまうことがない。このため、高記録密度化を図るべく TMR 素子 2 の寸法を小さくしても、MR 特性の劣化やヘッドの高抵抗化に伴う周波数特性の劣化等などを防止することができる。また、磁区制御層 32 の乗り上げ部が除去されることから、磁区制御層 32 からのバイアス磁界がより多くフリー層 27 に入る。このため、高記録密度化等を図るべく TMR 素子 2 の寸法を小さくしても、縦バイアスを有効にフリー層 27 に印加することができ、磁区制御層 32 によるフリー層 27 に対する縦バイアス効果を向上させることができる。

#### 【 0108 】

ところで、前述した第 1 の比較例においても、図 20 に示すように入射角度  $\theta$  を  $0^\circ$  に設定したイオンビームエッチングを十分に長く行えば、前記形成物及びその下の表面酸化膜 50 を除去することは可能である。しかし、その場合には、前記形成物の除去又は低減の選択性が低いため、上部金属層 28 のエッチング量も大きく増えてしまう。このため、エッチング分布が問題になったり、磁気抵抗効果層（特にトンネルバリア層 26）へのイオンビームによるダメージの影響が大きくなって MR 比が下がるという問題（すなわち、磁気抵抗効果層の本来の機能を阻害するという問題）が生じたりする。これに対し、前述した本実施の形態による製造方法では、前記形成物の除去又は低減の選択性を高めることができるので、そのような不都合は生じない。

#### 【 0109 】

次に、本実施の形態の変形例について説明する。本実施の形態では、前述したように、図 12 及び図 16 に示す状態の基板 101 の上面側をエッチングするエッチング工程として、実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用いその入射角度  $\theta$  を前述した角度

に設定した通常のイオンビームエッチングを行っている。しかしながら、本発明は、この通常のイオンビームエッチングの代わりに、ガスクラスターイオンビーム（G C I B）によるドライエッチングを行ってもよい。具体的には、例えば、1～5 k g 程度に加圧したガスを $10^{-4}$  T o r r ～ $10^{-1}$  T o r r 程度に減圧したチャンバに吹き出すことにより断熱膨張によって生じる $10^3 \sim 10^6$ 個のガスクラスターをイオン化し、加速電極によって所定の電圧にて加速して基板101の上面側に入射させる。基板101の上面側に対するガスクラスターイオンビームの入射方向は、ほぼ基板101の上面の法線の方角とすることができるが、その入射方向は適宜傾けてもよい。ガスクラスターイオンビームのために用いられるガスとしては、例えば、He、Ne、Ar、Kr、Xe及びHからなる群より選ばれた1種以上からなる単体ガス又は混合ガスを挙げるができる。また、加速電圧は例えば10～20 k e V、総照射量（総ドーズ量）は例えば $10^{15} \sim 10^{17}$  i o n s / c m<sup>2</sup>とすることができる。

#### 【0110】

このようにガスクラスターイオンビームを用いると、クラスターが基板101に衝突した後に、クラスターを構成する原子又は分子による多体衝突効果により当該原子又は分子には基板101表面に平行な運動量成分が生じるため、平坦化作用により前記形成物（再付着物72、82、絶縁層34及び磁区制御層32の乗り上げ部、及び、絶縁層30の乗り上げ部）される。したがって、ガスクラスターイオンビームを用いた場合にも、本実施の形態と同様の利点を得られる。なお、ガスクラスターイオンビームにより平坦化作用を得ることができることは、後述する実験により確認された。

#### 【0111】

なお、ガスクラスターイオンビームによるドライエッチングの条件を適宜設定することによって、前記形成物下及びその他の領域に存在していた表面酸化膜50を同時に除去することも可能であるし、表面酸化膜50を実質的に除去しないことも可能である。後者の場合には、例えば、ガスクラスターイオンビームによるドライエッチングの前又は後に、表面酸化膜除去のために、実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用いそのエッチング粒子の主たる入射角度 $\theta$ を例えば略0°に設定したドライエッチングを行えばよい。

#### 【0112】

##### 〔第2の実施の形態〕

#### 【0113】

図25は、本発明の第2の実施の形態による磁気ヘッド製造方法により製造される磁気ヘッドのTMR素子2及び誘導型磁気変換素子3の部分的模式的に示す拡大断面図である。図26は、図25中のTMR素子2の付近を更に拡大した拡大図である。図25及び図26は、それぞれ図2及び図4に対応している。図27は、本発明の第2の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の一工程を模式的に示す概略断面図であり、図17に対応している。図25乃至図27において、図1乃至図5及び図17中の要素と同一又は対応する要素には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。

#### 【0114】

図25及び図26に示す磁気ヘッドが図1乃至図5に示す磁気ヘッドと異なる所は、図25及び図27に示すように、図2及び図4中の絶縁層30の位置に、下側の絶縁層30aとその上に積層された層30bが設けられている点のみである。絶縁層30aの材料としては、例えば、 $Al_2O_3$ 又は $SiO_2$ などが用いられる。また、層30bの材料としては、 $Al_2O_3$ 及び $SiO_2$ よりイオンビームダメージ低減効果の高い材料、例えば金属が用いられている。

#### 【0115】

ここで、2つの材料のイオンビームダメージ低減効果の高低について説明すると、当該2つの材料でそれぞれ同じ厚さの層を構成し、各層の一方側にそれぞれイオンビームダメージが問題となる対象層（例えば、トンネルバリア層）を形成し、前記2つの材料の層に、対象層と反対側から同じエネルギーのイオンビームをそれぞれ直接又は同じ所定層を介し

て照射したとき、対象層が破壊されなかったりその特性が劣化し難い方の材料を他方の材料よりイオンビームダメージ低減効果が高いという。一般的に、構成元素の原子量が高い材料ほど、ここでいうイオンビームダメージ低減効果が高くなると考えられる。イオンビームダメージは、前記材料内を通過してAr等のイオンビームが対象層に直接到達し対象層を破壊したり、あるいは、前記材料内の結晶格子中を格子振動という形でイオンビームのエネルギーが伝わり対象層を破壊したり、前記材料内の結晶中の原子が玉突き状態でイオンビームのエネルギーを伝えて対象層を破壊したりすることにより、生ずるものと考えられる。

#### 【 0 1 1 6 】

本実施の形態による磁気ヘッド製造方法が、前記第1の実施の形態による磁気ヘッド製造方法と異なる所は、基本的に、前記第1の実施の形態において絶縁層30を形成する代わりに、絶縁層30a及び層30bを順次形成する点のみである。

#### 【 0 1 1 7 】

図27は、入射角度 $\theta$ を $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 以下に設定したイオンビームエッチングの工程（前記第1の実施の形態における図17に示すイオンビームエッチングの工程と同じ工程）の状況を示している。本実施の形態では、絶縁層30に代えて絶縁層30a及び層30bが形成されたことに伴い、図27に示すように、領域R1の再付着物82上には、絶縁層30a及び層30bの一部が乗り上がっている。本実施の形態では、トンネルバリア層26の-Y側の端面に向かおうとするイオンビームの経路には、絶縁層30よりイオンビームダメージ低減効果の高い材料からなる層30bが介在している。このため、本実施の形態によれば、前記第1の実施の形態に比べて、トンネルバリア層26の-Y側の端面に向かおうとするイオンビームによるトンネルバリア層26のダメージがより低減されるので、好ましい。

#### 【 0 1 1 8 】

その他の点については、本実施の形態によっても、前記第1の実施の形態と同様の利点を得られる。なお、前述した第1の実施の形態の変形例と同様の変形を、本実施の形態にも適用できることは、言うまでもない。

#### 【 0 1 1 9 】

#### 【 第3の実施の形態 】

#### 【 0 1 2 0 】

図28は、本発明の第3の実施の形態による磁気ヘッド製造方法により製造される磁気ヘッドのGMR素子6及び誘導型磁気変換素子3の部分的模式的に示す拡大断面図である。図29は、図28中のGMR素子6の付近を更に拡大した拡大図である。図30は、図29中のB-B'矢視概略図である。図28乃至図30は、それぞれ図2、図4及び図5に対応している。図28乃至図30において、図1乃至図5中の要素と同一又は対応する要素には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。

#### 【 0 1 2 1 】

図28乃至図30に示す磁気ヘッドは、LOL構造を持つ磁気ヘッドの一例である。図28乃至図30に示す磁気ヘッドが図1乃至図5に示す磁気ヘッドと異なる所は、層21、31間の構造と、これに伴う層21、31の機能である。図1乃至図5に示す磁気ヘッドでは、層21、31がそれぞれ磁気シールド及び電極を兼用しているのに対し、図28乃至図30に示す磁気ヘッドでは、層21、31は、磁気シールドとしてのみ用いられ、電極として作用しない。したがって、図28乃至図30に示す磁気ヘッドでは、層21、31をそれぞれ下部磁気シールド層及び上部磁気シールド層と呼ぶ。

#### 【 0 1 2 2 】

図28乃至図30に示す磁気ヘッドでは、下部磁気シールド層21と上部磁気シールド層31との間に、下部シールドギャップ層61及び上部シールドギャップ層62が形成されている。磁気抵抗効果素子として図1乃至図5に示す磁気ヘッドにおけるTMR素子2に代わりに設けられたGMR素子6が、シールドギャップ層61、62間に形成されている。図28及び図29中において、63はシールドギャップ層61、62間に形成されたシ

ールドギャップ層である。シールドギャップ層 61, 62, 63 は、絶縁層であり、例えば、 $Al_2O_3$  又は  $SiO_2$  などの材料で形成される。

【 0123 】

GMR 素子 6 が図 1 乃至図 5 中の TMR 素子 2 と異なる所は、トンネルバリア層 26 に代えて、Cu、Au 又は Ag などの非磁性金属層 64 が形成されている点である。ピン層 24、ピンド層 25、非磁性金属層 64 及びフリー層 27 が、磁気抵抗効果層を構成している。なお、図 28 乃至図 30 に示す磁気ヘッドでは、図 1 乃至図 5 中の磁気ヘッドで形成された下地層 22 は形成されていない。

【 0124 】

磁区制御層 32 は、前記磁気抵抗効果層の Z 軸方向の両側において、下部シールドギャップ層 61 上に形成されている。なお、図 28 乃至図 30 に示す磁気ヘッドでは、図 1 乃至図 5 中の磁気ヘッドで形成された絶縁層 34 は形成されていない。一对のリード層（電極層）65 が、上部金属層 28 を介して前記磁気抵抗効果層の両端部にそれぞれ部分的にオーバーラップしてオーバーレイ部を持つように、上部金属層 28 及び磁区制御層 32 上にそれぞれ形成されている。リード層 65 は、例えば、Au、AuCu、AuNi、AuSi 又は AlTi などの材料で形成される。

【 0125 】

なお、図 29 において、MRh は、GMR 素子 6 が規定する MR ハイトを示している。図 30 において、TW は、GMR 素子 6 が規定するトラック幅を示している。

【 0126 】

次に、本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法として、図 28 乃至図 30 に示す磁気ヘッドの製造方法の一例について、説明する。

【 0127 】

まず、ウエハ工程を行う。すなわち、基体 15 となるべき  $Al_2O_3-TiC$  又は  $SiC$  等のウエハ 101 を用意し、薄膜形成技術等を用いて、ウエハ 101 上のマトリクス状の多数の磁気ヘッドの形成領域にそれぞれ、前述した各層を前述した構造となるように形成する。

【 0128 】

このウエハ工程の概要について、図 31 乃至図 45 を参照して説明する。図 31 乃至図 45 はウエハ工程を構成する各工程を模式的に示す図である。図 31 (a)、図 32 (a) 30、図 37 (a)、図 44 (a) 及び図 45 (a) はそれぞれ概略平面図である。図 32 (a) において、TW は、GMR 素子 6 が規定するトラック幅を示している。図 31 (b) は図 31 (a) 中の H-J 線に沿った概略断面図、図 32 (b) は図 32 (a) 中の H-J 線に沿った概略断面図、図 37 (b) は図 37 (a) 中の L-K 線に沿った概略断面図、図 44 (b) は図 44 (a) 中の H-J 線に沿った概略断面図、図 45 (b) は図 45 (a) 中の H-J 線に沿った概略断面図である。図 33 乃至図 36 はそれぞれ、図 31 に示す状態から図 32 に示す状態に至る各工程を詳細に示す概略拡大断面図である。図 38 乃至図 41 はそれぞれ、図 32 に示す状態から図 37 に示す状態に至る各工程を詳細に示す概略拡大断面図である。図 42 及び図 43 はそれぞれ、図 37 及び図 41 に示す状態の後の工程を示す概略拡大断面図である。

【 0129 】

ウエハ工程では、まず、ウエハ 101 上に、下地層 16、下部磁気シールド層 21、下部シールドギャップ層 61、下部金属層 23、ピン層 24、ピンド層 25、非磁性金属層 64、フリー層 27 及び上部金属層 28 を、順次積層する（図 31）。このとき、下部磁気シールド層 21 は例えばめっき法により形成し、他の層は例えばスパッタ法で形成する。その後、この状態の基板が一旦大気中に置かれる。このとき、磁気抵抗効果層の上面（本実施の形態では、フリー層 27 の上面）は、上部金属層 28 により保護されるので、酸化されない。しかし、上部金属層 28 の上面に酸化膜 50 が形成されることになる（図 31）。

【 0130 】



次に、第1のドライエッチングとしてのイオンミリングにより、下部金属層23、ピン層24、ピンド層25、非磁性金属層64、フリー層27、上部金属層28及び酸化膜50を、部分的に除去して、パターニングする。次いで、この除去した部分に、リフトオフ法により、磁区制御層32を形成する(図32)。

#### 【0131】

この工程について、図33乃至図36を参照して詳細に説明する。まず、図32に示す状態の基板上(本実施の形態では、表面酸化膜50上)に、第2のリフトオフ用レジストパターン111を形成する(図33)。

#### 【0132】

次に、第1のリフトオフ用レジストパターン111をマスクとして、第1のドライエッチングとしてのイオンミリング(他のドライエッチングでもよい。)を行うことにより、層23~25、64、27、28、50をパターニングする(図34)。このパターニングにより、GMR素子6のトラック幅方向の両側の端部が規定される。このパターニングの際に、第1のリフトオフ用レジストパターン111のアンダーカット111aに相当する表面酸化膜50上の領域には、図34に示すように、層23~25、64、27、28、50のイオンミリングによる再付着物112が形成される。なお、図34において、領域R6は、アンダーカット111aに相当する領域のうち+Z側(トラック幅方向の一方側)の領域を示している。この点は、図30、図32、図35、図36、図44、図45についても同様である。図30、図32、図44及び図45において、領域R5は、アンダーカット111aに相当する領域のうち-Z側(トラック幅方向の他方側)の領域を示している。 10

#### 【0133】

次いで、第1のリフトオフ用レジストパターン111が表面酸化膜50上に存在する状態で、基板101上に磁区制御層32をスパッタ法等により成膜する(図35)。このとき、アンダーカット111aに相当する表面酸化膜50上の領域には(すなわち、再付着物112上には)、図35に示すように、磁区制御層32の一部(以下、「乗り上げ部」と呼ぶ。)が乗り上がる。

#### 【0134】

このように、第1のリフトオフ用レジストパターン111のアンダーカット111aに相当する表面酸化膜50上の領域には、再付着物112及び磁区制御層32の乗り上げ部による形成物が形成される。 30

#### 【0135】

その後、第1のリフトオフ用レジストパターン111を除去することにより、磁区制御層32の第1のリフトオフ用レジストパターン111上の部分を除去する(図36)。図36は図32と同じ状態を示している。

#### 【0136】

次に、第2のドライエッチングとしてのイオンミリングにより、GMR素子6のハイト方向に関して必要な幅(Y軸方向の幅)を持つとともに所定長さだけZ軸方向に延びる帯状部分を含むコ字状部分を残して、下部金属層23、ピン層24、ピンド層25、非磁性金属層64、フリー層27、上部金属層28、表面酸化膜50及び磁区制御層32を、部分的に除去して、パターニングする。次いで、この除去した部分に、リフトオフ法により、シールドギャップ層(絶縁層)63を形成する(図37)。 40

#### 【0137】

この工程について、図38乃至図41を参照して詳細に説明する。まず、図32及び図36に示す状態の基板上に、第2のリフトオフ用レジストパターン121を形成する(図38)。

#### 【0138】

次に、第2のリフトオフ用レジストパターン38をマスクとして、第2のドライエッチングとしてのイオンミリング(他のドライエッチングでもよい。)を行うことにより、層23~25、64、27、28、50、32をパターニングする(図39)。このパターニ 50



ングにより、GMR素子6のハイト方向の一方の端部（本実施の形態では、-Y側の端部、すなわち、ABSと反対側の端部）が規定される。このパターニングの際に、第2のリフトオフ用レジストパターン121のアンダーカット121aに相当する表面酸化膜50等の上の領域には、図39に示すように、層23～25、64、27、28、50、32のイオンミリングによる再付着物122が形成される。なお、図39において、領域R4は、アンダーカット121aに相当する領域のうち-Y側（ABSと反対側）の領域を示している。この点は、図29、図37、図40～図43についても同様である。

【0139】

次いで、第2のリフトオフ用レジストパターン121が基板上に存在する状態で、基板101上にシールドギャップ層（絶縁層）63をスパッタ法等により成膜する（図40）。このとき、アンダーカット121aに相当する表面酸化膜50等の上の領域には（すなわち、再付着物122上には）、図40に示すように、シールドギャップ層63の一部（以下、「乗り上げ部」と呼ぶ。）が乗り上がる。

【0140】

このように、第2のリフトオフ用レジストパターン121のアンダーカット121aに相当する表面酸化膜50上等の領域には、再付着物122及びシールドギャップ層63の乗り上げ部による形成物が形成される。

【0141】

その後、第2のリフトオフ用レジストパターン121を除去することにより、シールドギャップ層63の第2のリフトオフ用レジストパターン121上の部分を除去する（図41）。図41は図37と同じ状態を示している。

【0142】

次に、図37及び図41に示す状態の基板101の上面側をエッチングするエッチング工程を行う。このエッチング工程では、図42に示すように、前述した第1の実施の形態における図17に示すドライエッチングと同様に、実質的にクラスターを形成しないエッチング粒子を用い、基板101の上面側に対するエッチング粒子の主たる入射角度 $\theta$ を、基板101の上面の法線Pの方向に対して $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 以下に設定して、ドライエッチングを行う。このドライエッチングに関しても、第1の実施の形態において図17に関して説明した内容は基本的にそのまま適合する。

【0143】

本実施の形態では、前述した入射角度 $\theta$ を $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 以下に設定したイオンビームエッチングによって、図43に示すように、前記形成物（再付着物112、122、磁区制御層32の乗り上げ部、及び、シールドギャップ層63の乗り上げ部）、並びに、前記形成物下及びその他の領域に存在していた表面酸化膜50が、除去される。このとき、前述したように入射角度 $\theta$ が $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 以下に設定されたことによって、前記形成物の除去又は低減の選択性が高まる。なお、図43はXY平面と平行な平面に沿った断面を示しているので、図43には、領域R5、R6上の形成物（再付着物112及び磁区制御層32の乗り上げ部）の除去後の様子は現れていないが、その除去後の様子は、後述する図44等に現れている。

【0144】

その後、図43に示す状態の基板101上に、リード層65が形成される（図44）。次いで、上部シールドギャップ層62がスパッタ法等により形成され、更に、メッキ法等により上部磁気シールド層31を形成する（図45）。

【0145】

最後に、ギャップ層38、コイル層37、絶縁層39、上部磁性層36及び保護膜40を形成し、更に電極5a～5d等を形成する。これにより、ウエハ工程が完了する。

【0146】

次に、ウエハ工程が完了したウエハに対して、前述した第1の実施の形態と同様に、公知の工程を経て磁気ヘッドを完成させる。

【0147】

ここで、本実施の形態による製造方法と比較される第2の比較例について、図46乃至図52を参照して説明する。図46乃至図49は、この第2の比較例による製造方法の一部の各工程を模式的に示す図である。図46及び図47は、それぞれ図42及び図43に対応する概略拡大断面図である。図48(a)及び図49(a)は概略平面図、図48(b)は図48(a)中のH-J線に沿った概略断面図、図49(b)は図49(a)中のH-J線に沿った概略断面図である。図48及び図49は、それぞれ図44及び図45に対応している。図50乃至図52は、この第2の比較例による製造方法により製造された磁気ヘッドのGMR素子6の部分を模式的に示す拡大断面図である。図50は図29に対応している。図51は、図50中のM-M'矢視概略図であり、図30に対応している。図52は、図50中のN-N'矢視概略図である。図46乃至図52において、図29乃至図45中の要素と同一又は対応する要素には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。

#### 【0148】

この第2の比較例による製造方法は、従来技術に準じて、前述した本実施の形態による製造方法を次のように変形したものである。すなわち、この第2の比較例による製造方法が前述した第2の実施の形態による製造方法と異なる所は、前記エッチング工程で、図42に示すように入射角度 $\theta$ を $60^\circ$ 以上 $90^\circ$ 以下に設定した通常のイオンビームエッチングに代えて、図46に示すように入射角度 $\theta$ を $0^\circ$ に設定した通常のイオンビームエッチングを行う点のみである。

#### 【0149】

前記形成物(再付着物112, 122、磁区制御層32の乗り上げ部、及び、シールドギャップ層63の乗り上げ部)が形成されていない領域の表面酸化膜50がちょうど除去される程度まで、入射角度 $\theta$ を $0^\circ$ に設定した前記イオンビームエッチングを行うと、図47に示すように、前記形成物の一部は除去されるものの、前記形成物の他の部分が残るとともに、前記形成物下の表面酸化膜50が残る。これは、エッチング粒子が前記形成物を上から叩くことにより、前記形成物の除去又は低減の選択性が低いためであると考えられる。また、イオンビームの入射角度 $\theta$ が略 $0^\circ$ である場合には、 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ 等の絶縁膜のエッチングレートは金属のエッチングレートに対して低いので、これによっても前記形成物の除去又は低減の選択性が低くなるためであると考えられる。

#### 【0150】

したがって、図47に示す状態の基板101上に、リード層65を形成すると、図48に示すようになる。更に上部シールドギャップ層62及び上部磁気シールド層31を形成すると、図49に示すようになる。このため、この第2の比較例による製造方法により製造された磁気ヘッドでは、図50乃至図52に示すように、前述した領域R4~R6に、表面酸化膜50、再付着物112, 122及びシールドギャップ層(絶縁層)63などが残ってしまい、これらによって、磁気抵抗効果層に流れる電流の通路が制限され、電氣的に良好な接触をしている領域が減ってしまう。その結果、GMR素子6から本来の出力が得られないという問題が生ずる。領域R4~R6の幅は、前述した第1のリフトオフ用レジストパターン111, 121のアンダーカット111a, 121aの寸法により定まる。したがって、リフトオフ時のバリの発生等を避けるためには、領域R4~R6の幅を所定寸法(例えば、数十nm)以下にすることは困難である。このため、高記録密度化を図るべくGMR素子6の寸法を小さくする(例えば、MRハイトMRhを $100\text{nm}$ 以下にしようとする)と、電氣的に良好な接触をしている領域が著しく減り、GMR素子6から本来の出力が得られないという問題が顕著に現れてしまう。

#### 【0151】

また、この第2の比較例による製造方法により製造された磁気ヘッドでは、図51に示すように、領域R5, R6に、磁区制御層32が乗り上げている。したがって、前述した第1の比較例の場合と同様に、磁区制御層32からのバイアス磁界の一部がフリー層27に入らずに両側の磁区制御層32の乗り上げ部間を通過してバイパスされてしまう。その結果、磁区制御層32によるフリー層27に対する縦バイアス効果が弱まってしまい、フリー

層 27 の磁区制御を十分に行うことができない。前述したように領域 R5, R6 の幅は所定寸法以下にすることが困難であるため、高記録密度化を図るべく GMR 素子 6 の寸法を小さくすると、両側の磁区制御層 32 の乗り上げ部間の距離が著しく狭まり、フリー層 27 の磁区制御への影響が顕著に現れてしまう。

【 0152 】

これに対し、前述した本実施の形態による製造方法では、前述したように、前記エッチング工程において、図 42 に示すように入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定したイオンビームエッチングを行う。これにより、図 43 に示すように、前記形成物（再付着物 112, 122、磁区制御層 32 の乗り上げ部、及び、シールドギャップ層 63 の乗り上げ部）、並びに、前記形成物下及びその他の領域に存在していた表面酸化膜 50 が、除去される。したがって、本実施の形態による製造方法で製造した図 28 乃至図 30 に示す磁気ヘッドでは、磁気抵抗効果層に流れる電流の通路が制限されず、電気的に良好な接触をしている領域が減ってしまうことがない。このため、高記録密度化を図るべく GMR 素子 6 の寸法を小さくしても、出力の低下などを防止することができる。また、磁区制御層 32 の乗り上げ部が除去されることから、磁区制御層 32 からのバイアス磁界がより多くフリー層 27 に入る。このため、高記録密度化等を図るべく TMR 素子 2 の寸法を小さくしても、縦バイアスを有効にフリー層 27 に印加することができ、磁区制御層 32 によるフリー層 27 に対する縦バイアス効果を向上させることができる。

【 0153 】

ところで、前述した第 2 の比較例においても、図 46 に示すように入射角度  $\theta$  を  $0^\circ$  に設定したイオンビームエッチングを十分に長く行えば、前記形成物及びその下の表面酸化膜 50 を除去することは可能である。しかし、その場合には、前記形成物の除去又は低減の選択性が低く、また平坦化効果も使えないため、上部金属層 28 のエッチング量も大きく増えてしまう。このため、エッチング分布が問題になったり、磁気抵抗効果層へのイオンビームによるダメージの影響が大きくなって MR 比が下がるという問題（すなわち、磁気抵抗効果層の本来の機能を阻害するという問題）が生じたりする。これに対し、前述した本実施の形態による製造方法では、前記形成物の除去又は低減の選択性を高めることができるので、そのような不都合は生じない。

【 0154 】

なお、前述した第 1 の実施の形態の変形例と同様の変形を、本実施の形態にも適用できることは、言うまでもない。

【 0155 】

【 第 4 の実施の形態 】

【 0156 】

図 53 は、本発明の第 4 の実施の形態による磁気ディスク装置の要部の構成を示す概略斜視図である。

【 0157 】

第 4 の実施の形態による磁気ディスク装置は、軸 170 の回りに回転可能に設けられた磁気ディスク 171 と、磁気ディスク 171 に対して情報の記録及び再生を行う磁気ヘッド 172 と、磁気ヘッド 172 を磁気ディスク 171 のトラック上に位置決めするためのアッセンブリキャリッジ装置 173 と、を備えている。

【 0158 】

アッセンブリキャリッジ装置 173 は、軸 174 を中心にして回転可能なキャリッジ 175 と、このキャリッジ 175 を回転駆動する例えばボイスコイルモータ（VCM）からなるアクチュエータ 176 とから主として構成されている。

【 0159 】

キャリッジ 175 には、軸 174 の方向にスタックされた複数の駆動アーム 177 の基部が取り付けられており、各駆動アーム 177 の先端部には、磁気ヘッド 172 を搭載したヘッドサスペンションアッセンブリ 178 が固着されている。各ヘッドサスペンションアッセンブリ 178 は、その先端部に有する磁気ヘッド 172 が、各磁気ディスク 171 の表

面に対して対向するように駆動アーム 177 の先端部に設けられている。

【0160】

第4の実施の形態では、磁気ヘッド172として、前述した第1乃至第3の実施の形態による磁気ヘッド製造方法のいずれかにより製造された磁気ヘッドが、搭載されている。したがって、第4の実施の形態によれば、高記録密度化を図ることができるなどの利点が得られる。

【0161】

【実施例】

【実施例1及び比較例1のサンプル】

【0162】

10

実施例1のサンプルとして、前記第1の実施の形態による磁気ヘッド製造方法により図1乃至図5に示す磁気ヘッドと同様の磁気ヘッドを作製した。また、比較例1のサンプルとして、前記第1の実施の形態に関連して説明した前記第1の比較例による磁気ヘッド製造方法により図23及び図24に示す磁気ヘッドと同様の磁気ヘッドを作製した。

【0163】

これらのサンプルの各層の構成は、同一とした。その主要な各層の構成は、下記の表1に示す通りとした。これらのサンプルの製造方法は、図17及び図20にそれぞれ示すイオンビームエッチングに相当するイオンビームエッチングの条件を除き、同一の方法及び条件とした。

【0164】

20

【表1】

層の名称と図中の符号	層の構成と膜厚 (2層以上の場合、左側に記載した層が下側(基板側)の層)
上部電極 3 1 (上部磁気シールド兼用)	NiFe (2 $\mu$ m)
上部金属層 2 9	Ta (5nm)
絶縁層 3 0	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (60nm)
硬磁性層 3 2	TiW (10nm) / CoPt (30nm) / Ta (20nm)
絶縁層 3 4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (5nm)
上部金属層 2 8 (キャップ層)	Ta (25nm)
フリー層 2 7	CoFe (1nm) / NiFe (3nm)
トンネルバリア層 2 6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0.6nm)
ピンド層 2 5	CoFe (2nm) / Ru (0.8nm) / CoFe (3nm)
ピン層 2 4	PtMn (15nm)
下部金属層 2 3	NiFe (2nm)
下部金属層 2 2	Ta (5nm)
下部電極 2 1 (下部磁気シールド兼用)	NiFe (2 $\mu$ m)

10

20

30

## 【 0 1 6 5 】

実施例 1 のサンプルでは、前記イオンビームエッチングの条件は、使用ガスを A r ガス、加速電圧を 2 5 0 V、ビーム電流を 0. 1 m A / c m<sup>2</sup>、A r ガス圧を  $2 \times 10^{-4}$  T o r r、基板温度を 5 0 ℃、エッチング時間を 2 0 分、イオンビーム入射角度（基板の法線に対する角度） $\theta$  を 8 0 ° とした。このエッチング条件は、上部金属層 2 8 を構成する T a に対するエッチングレートが 0. 3 5 n m / m i n となることを、実験により確認した。

## 【 0 1 6 6 】

一方、比較例 1 のサンプルでは、前記イオンビームエッチングの条件は、使用ガスを A r ガス、加速電圧を 2 5 0 V、ビーム電流を 0. 1 m A / c m<sup>2</sup>、A r ガス圧  $2 \times 10^{-4}$  T o r r、基板温度を 5 0 ℃、エッチング時間を 5. 4 分、イオンビーム入射角度（基板の法線に対する角度） $\theta$  を 0 ° とした。このエッチング条件は、上部金属層 2 8 を構成する T a に対するエッチングレートが 1. 3 n m / m i n となることを、実験により確認した。

50

## 【 0 1 6 7 】

このように、実施例 1 のサンプルと比較例 1 のサンプルとでは、前記イオンビームエッチングの条件について、イオンビーム入射角度  $\theta$  及びエッチング時間のみを変え、他の条件は同一とした。両者のエッチング時間は、 $T_a$  に対する両者のエッチング量（エッチングレートに基づく計算値）が同じく 7 nm となるように設定した。

## 【 0 1 6 8 】

なお、実施例 1 のサンプル及び比較例 1 のサンプルの両方とも、TMR 素子 2 のトラック幅  $TW$  を 0.13  $\mu m$  とし、TMR 素子 2 の MR ハイト  $MRh$  を 0.1  $\mu m$  とし、保護膜 4 を厚さ 3 nm の DLC 膜とし、浮上型磁気ヘッドとした。

## 【 0 1 6 9 】

そして、これらのサンプルの再生出力を測定した。この測定では、全てサンプルについて、フライングハイトを 10 nm、メディア保護膜を 3 nm とし、バイアス電圧は 150 mV と一定にした。

## 【 0 1 7 0 】

この測定の結果、実施例 1 のサンプルの場合は、抵抗値は 250  $\Omega$ 、出力は 5.25 mV となり、比較例 1 のサンプルの場合は、抵抗値は 700  $\Omega$ 、出力は 1.90 mV となった。このように、実施例 1 のサンプルは、比較例 1 のサンプルと比べて良好な結果を示した。

## 【 0 1 7 1 】

これは、比較例 1 のサンプルでは、図 23 及び図 24 に示すように、領域  $R_1 \sim R_3$  に、前記形成物（再付着物 72、8.2、絶縁層 34 及び磁区制御層 32 の乗り上げ部、及び、絶縁層 30 の乗り上げ部）、並びに、表面酸化膜 50 が存在することにより、接触抵抗が増加し、抵抗値の増大及び MR 比の劣化による出力の低下が起きたのに対し、実施例 1 のサンプルでは、図 4 及び図 5 に示すように、領域  $R_1 \sim R_3$  に前記形成物及び表面酸化膜 50 が存在しないことにより、接触抵抗が低下し、MR 比の向上による出力の増加が起きたためであると考えられる。

## 【 0 1 7 2 】

## 【 サンプル 1 ～ 5 】

## 【 0 1 7 3 】

前述した実施例 1 のサンプル及び比較例 1 のサンプルと同一の各層の構成（その主要な各層の構成は表 1 の通り。）を持ち、かつ、図 17 及び図 20 にそれぞれ示すイオンビームエッチングに相当するイオンビームエッチングの条件を除き、前述した実施例 1 のサンプル及び比較例 1 のサンプルと同一の方法及び条件で前記イオンビームエッチングまでの工程を行ったウエハを、サンプル 1 ～ 5 として作製した。

## 【 0 1 7 4 】

サンプル 1 ～ 5 では、前記イオンビームエッチングの条件について、イオンビーム入射角度  $\theta$  及びエッチング時間のみを表 2 に示す通りに変え、他の条件は前記実施例 1 のサンプル及び前記比較例 1 のサンプルの場合と同一とした。表 2 には、各イオンビーム入射角度  $\theta$  毎の  $T_a$ （上部金属層 28 の材料）に対するエッチングレート（実験値）及び  $Al_2O_3$  に対するエッチングレート（実験値）も掲載している。表 2 からわかるように、サンプル 1 ～ 5 のエッチング時間は、 $T_a$  に対するエッチング量（エッチングレートに基づく計算値）が同じく 5 nm となるように設定した。

## 【 0 1 7 5 】

## 【 表 2 】

	入射 角度 $\theta$ [deg]	Taのエッ チングレ ート [nm/min]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> のエ ッチング レート [nm/min]	エッチ ング時 間 [m:s]	Taのエッ チング量 (計算値) [nm]
サンプル 1	0	1.20	0.56	4:10	5.0
サンプル 2	45	1.32	1.33	3:48	5.0
サンプル 3	60	1.01	1.38	4:56	5.0
サンプル 4	75	0.39	0.84	12:52	5.0
サンプル 5	85	0.16	0.37	32:15	5.0

10

## 【 0 1 7 6 】

そして、各サンプル 1 ～ 5 について、前記イオンビームエッチングの前後において、A F M (原子間力顕微鏡) を用いてプロファイルを得ることで、図 5 4 に示す乗り上げ部の高さ  $h_1$  及び段差  $h_2$  を測定した。図 5 4 は、サンプル 1 ～ 5 の測定個所を模式的に示す断面図であり、図 1 7 及び図 1 8、並びに、図 2 0 及び図 2 1 に対応している。ただし、図 5 4 では、前記イオンビームエッチングの前後の状態の表面の高さの様子を模式的に示しており、表面酸化膜 5 0 及び再付着物 8 2 等は図示していない。高さ  $h_1$  は、乗り上げ部から + Y 方向に十分に離れた位置の表面の高さ (この高さは、勿論、前記イオンビームエッチングの前後で変化する。) を基準とした乗り上げ部の高さ (層 2 3 ～ 2 8 の - Y 側の端面付近において最も高い高さ) である。段差  $h_2$  は、乗り上げ部から + Y 方向に十分に離れた位置の表面の高さを基準とした、乗り上げ部から - Y 方向に十分に離れた位置の表面の高さである。

30

## 【 0 1 7 7 】

各サンプル 1 ～ 5 の前記イオンビームエッチングの前後における乗り上げ部の高さ  $h_1$  及び段差  $h_2$  の測定結果を、表 3 に示す。また、この測定結果のうちイオンビーム入射角度  $\theta$  とイオンビームエッチング後の乗り上げ部の高さ  $h_1$  との関係を、図 5 5 に示す。

## 【 0 1 7 8 】

## 【 表 3 】

	乗り上げ部の高さ h 1 [nm] (エッチング前)	乗り上げ部の高さ h 1 [nm] (エッチング後)	段差 h 2 [nm] (エッチング前)	段差 h 2 [nm] (エッチング後)
サンプル 1	8.4	8.6	9.8	13.1
サンプル 2	8.2	7.1	10.1	10.4
サンプル 3	7.8	4.5	10.7	8.6
サンプル 4	8.1	1.9	10.3	4.6
サンプル 5	8.2	0.8	9.9	3.5

10

## 【 0 1 7 9 】

各サンプル 1 ～ 5 は、前述したように、前記イオンビームエッチングにより、T a からな 20  
る上部金属層 2 8 を計算上 5 n m エッチングされている。そして、表 2、表 3 及び図 5 5  
からわかるように、イオンビーム入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下にすると、乗り上げ  
部の高さ h 1 は 5 n m 以下となる。したがって、イオンビーム入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$   
以下にすると、計算上は、乗り上げ部において T a 面が完全に露出し、絶縁層の乗  
り上げ部、ミリング再付着物及び表面酸化膜 5 0 を完全に除去していると考えられる。

## 【 0 1 8 0 】

また、表 2 及び表 3 からわかるように、イオンビーム入射角度  $\theta$  が  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下  
では、前記イオンビームエッチング後の乗り上げ部の高さ h 1 が前記イオンビームエッチ  
ング前の乗り上げ部の高さ h 1 の 60 % 以下、イオンビーム入射角度  $\theta$  が  $75^\circ$  以上  $90^\circ$   
以下では 30 % 以下、イオンビーム入射角度  $\theta$  が  $85^\circ$  以上  $90^\circ$  以下では 10 % 以下 30  
となっている。したがって、T a からなる上部金属層 2 8 の同じエッチング量に対して、  
入射角度  $\theta$  が大きいほど乗り上げ部を平坦化することができ、絶縁層の乗り上げ部、ミ  
リング再付着物及び表面酸化膜 5 0 をより多く除去できていると考えられる。

## 【 0 1 8 1 】

以上の理由で、イオンビーム入射角度  $\theta$  を  $60^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定することが好まし  
く、 $75^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定することがより好ましく、 $80^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定  
することがより一層好ましく、 $85^\circ$  以上  $90^\circ$  以下に設定することが更に一層好ましい  
。

## 【 0 1 8 2 】

前述したように、表 2 には、各イオンビーム入射角度  $\theta$  毎の T a に対するエッチングレ 40  
ート（実験値）及び  $Al_2O_3$  に対するエッチングレート（実験値）も掲載している。本発  
明者は、T a 以外に上部金属層 2 8 として用いることができる他の代表的な金属材料（具  
体的には、R u、R h、A u）、及び、 $Al_2O_3$  以外に絶縁層として用いることができ  
る他の代表的な絶縁材料（具体的には、S i  $O_2$ ）について、各イオンビーム入射角度  $\theta$   
毎のエッチングレートを実験により得た。その結果を、表 4 に示す。なお、これらのエッ  
チングレートを得た際のイオンビームエッチングの条件は、T a 及び  $Al_2O_3$  のエッ  
チングレートを得た際の条件と同一とした。

## 【 0 1 8 3 】

## 【表 4】



入射角度 $\theta$ [deg]	Ruのエ ッチング レート [nm/min]	Rhのエ ッチング レート [nm/min]	Auのエ ッチング レート [nm/min]	SiO <sub>2</sub> のエ ッチングレート [nm/min]
0	1.53	2.17	5.11	1.77
45	1.63	2.10	3.70	2.59
60	1.13	1.49	2.09	2.76
75	0.61	0.72	0.93	1.99
85	0.28	0.26	0.21	0.97

10

【0184】

表2及び表4に示す各材料に対するエッチングレートから、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のエッチングレートに対するTa、Ru、Rh、Auのエッチングレートの比（エッチングレート比）をそれぞれ算出した。その算出結果を、下記の表5及び図56に示す。

【0185】

【表5】

入射角度 $\theta$ [deg]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> に対するエッチングレート比			
	Taのエ ッチング レート比	Ruのエ ッチング レート比	Rhのエ ッチング レート比	Auのエ ッチング レート比
0	2.13	2.72	3.85	9.07
45	0.99	1.23	1.58	2.79
60	0.74	0.82	1.08	1.52
75	0.46	0.73	0.86	1.11
85	0.42	0.75	0.69	0.57

30

40

【0186】

また、表2及び表4に示す各材料に対するエッチングレートから、SiO<sub>2</sub>のエッチングレートに対するTa、Ru、Rh、Auのエッチングレートの比（エッチングレート比）をそれぞれ算出した。その算出結果を、下記の表6及び図57に示す。

【0187】

【表6】

50

入射角度 $\theta$ [deg]	SiO <sub>2</sub> に対するエッチングレート比			
	Taのエ ッチング レート比	Ruのエ ッチング レート比	Rhのエ ッチング レート比	Auのエ ッチング レート比
0	0.68	0.87	1.23	2.89
45	0.51	0.63	0.81	1.43
60	0.37	0.41	0.54	0.76
75	0.20	0.31	0.36	0.47
85	0.16	0.28	0.26	0.22

10

20

## 【0188】

表5、表6、図56、図57に挙げた金属材料は、上部金属層（キャップ層）28として代表的なものである。表5及び図56からわかるように、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に対するエッチングレート比は、イオンビーム入射角度 $\theta$ が60°以上において、ほとんど全ての金属材料で1より小さくなる。また、表6及び図57からわかるように、SiO<sub>2</sub>に対するエッチングレート比は、イオンビーム入射角度 $\theta$ が60°以上において、全ての金属材料で1より小さくなる。これらのエッチングレート比が1より小さいということは、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>又はSiO<sub>2</sub>が上部金属層（キャップ層）28となるべき当該金属材料に比べてエッチングされ易いことを意味し、磁気抵抗効果層の周辺部の前述した形成物が選択的に除去され易いことを意味する。

30

## 【0189】

したがって、表5、表6、図56、図57に示す結果からも、イオンビーム入射角度 $\theta$ を60°以上90°以下に設定することが好ましいことわかる。また、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>又はSiO<sub>2</sub>に対するエッチングレート比が小さいほど好ましいので、表5、表6、図56、図57に示す結果からも、イオンビーム入射角度 $\theta$ を75°以上90°以下に設定することがより好ましく、80°以上90°以下に設定することがより一層好ましく、85°以上90°以下に設定することが更に一層好ましいことが、わかる。

## 【0190】

## [サンプル6～17]

## 【0191】

40

さらに、本発明者は、イオンビーム入射角度 $\theta$ を90°に近づけた通常のイオンビームエッチング、及び、ガスクラスタイオンビームによるエッチングについて、次の実験により凸部の平坦化効果を確かめた。

## 【0192】

図58に示すような構造を持つサンプル6～17を作製した。これらのサンプル6～17は、次の工程により作製したものである。まず、シリコン基板201上に厚さ50nmのTa層202をスパッタにて成膜した。次に、電子ビームリソグラフィ（EBリソグラフィ）にて所定幅W3のレジストパターン（図示せず）を形成した。次いで、このレジストパターンをマスクとして、Ta層202をイオンミリングによりパターニングした。その後、前記レジストを剥離した後に、シリコン基板201及びTa層の上に、厚さ100n 50

mのSiO<sub>2</sub>層203を成膜した。これにより得たものをそれぞれサンプル6～17とした。

【0193】

前記幅W3を、サンプル6, 10, 14では80nm、サンプル7, 11, 15では120nm、サンプル8, 12, 16では160nm、サンプル9, 13, 17では160nmとした。この点以外については、全てのサンプル6～17について同一とした。

【0194】

サンプル6～13については、図17及び図20にそれぞれ示すイオンビームエッチングに相当する通常のイオンビームエッチングを行った。

【0195】

サンプル6～9では、前記イオンビームエッチングの条件は、使用ガスをArガス、加速電圧を500V、ビーム電流を0.32mA/cm<sup>2</sup>、Arガス圧を4.1×10<sup>-4</sup>Torr、基板温度を50℃、エッチング時間を18.2分、イオンビーム入射角度（基板の法線に対する角度）θを80°とした。このエッチング条件は、SiO<sub>2</sub>に対するエッチングレートが1.1nm/minとなることを、実験により確認した。

10

【0196】

サンプル10～13では、前記イオンビームエッチングの条件は、エッチング時間を23.5分、イオンビーム入射角度（基板の法線に対する角度）θを85°とした以外、サンプル6～9の場合と同じ条件とした。このエッチング条件は、SiO<sub>2</sub>に対するエッチングレートが0.85nm/minとなることを、実験により確認した。

20

【0197】

サンプル6～9の前記エッチング時間及びサンプル10～13のエッチング時間は、SiO<sub>2</sub>に対するエッチング量（エッチングレートに基づく計算値）が同じく20nmとなるように設定した。

【0198】

サンプル14～17については、ガスクラスターイオンビームによるエッチングを行った。その条件は、サンプル14～17について同一とし、使用ガスをArガス、加速電圧を20kV、総ドーズ量を5×10<sup>15</sup>ions/cm<sup>2</sup>とし、ガスクラスターイオンビームの入射角度（基板の法線に対する角度）θを0°とした。

【0199】

そして、各サンプル6～17について、前記エッチングの前後において、AFMを用いてプロファイルを得ることで、図58に示す段差h3を測定した。その測定結果を、下記の表7～表9に示す。

30

【0200】

【表7】

## 通常のイオンビームエッチング

(入射角度  $\theta = 80\text{deg}$ 、エッチング時間 = 18.2min)

	幅W3 [nm] (エッチング 前)	段差h3 [nm] (エッチング 前)	段差h3 [nm] (エッチング 後)
サンプル6	80	34.6	5.3
サンプル7	120	44.3	9.7
サンプル8	160	46.9	21.2
サンプル9	200	46.5	32.6

10

【 0 2 0 1 】

【 表 8 】

## 通常のイオンビームエッチング

(入射角度  $\theta = 85\text{deg}$ 、エッチング時間 = 23.5min)

20

	幅W3 [nm] (エッチング 前)	段差h3 [nm] (エッチング 前)	段差h3 [nm] (エッチング 後)
サンプル10	80	34.6	4.6
サンプル11	120	44.3	7.0
サンプル12	160	46.9	7.9
サンプル13	200	46.5	10.2

30

【 0 2 0 2 】

【 表 9 】

# ガスクラスターイオンビームエッチング

	幅W 3 [nm] (エッチング 前)	段差 h 3 [nm] (エッチング 前)	段差 h 3 [nm] (エッチング 後)
サンプル 1 4	80	34.6	1.9
サンプル 1 5	120	44.3	9.6
サンプル 1 6	160	46.9	18.1
サンプル 1 7	200	46.5	25.8

10

## 【 0 2 0 3 】

表 7 ～ 表 9 からわかるように、いずれのエッチングの後においても、段差 h 3 が小さくなっており、平坦化効果が得られる。このことは、前述した第 1 乃至第 3 の実施の形態及びその変形例のように、入射角度  $\theta$  を大きくした通常のイオンビームエッチングを行ったりガスクラスターイオンビームによるエッチングを行ったりすることで、磁気抵抗効果層の周辺部の前述した形成物（凸部）を除去し得ることを、意味する。 20

## 【 0 2 0 4 】

そして、表 9 を表 7 及び表 8 と比較することでわかるように、ガスクラスターイオンビームによるエッチングによっても、入射角度  $\theta$  を大きくした通常のイオンビームエッチングと同様の平坦化効果が得られる。このことから、磁気抵抗効果層の周辺部の前述した形成物を除去するために、イオンビーム入射角度  $\theta$  を大きくした通常のイオンビームエッチングの代わりに、ガスクラスターイオンビームによるエッチングを有効に用いることができることが、判明した。

## 【 0 2 0 5 】

以上、本発明の各実施の形態及びそれらの変形例について説明したが、本発明はこれらに 30 限定されるものではない。

## 【 0 2 0 6 】

例えば、前述した第 1 乃至第 3 の実施の形態は、本発明によるパターン形成方法を磁気ヘッド製造方法における磁気抵抗効果素子製造方法に適用した例であるが、本発明によるパターン形成方法は、磁気検出器や M R A M ( M a g n e t i c r a n d o m a c c e s s m e m o r y ) などの製造方法における磁気抵抗効果素子製造方法に適用したり、その他の種々の用途に適用することができる。

## 【 0 2 0 7 】

### 【 発明の効果 】

以上説明したように、本発明によれば、リフトオフ用レジストパターンをマスクとしてドライエッチングによりパターニングした膜の周縁部等の上に残る不要な形成物を、除去又は減らすことができるパターン形成方法を提供することができる。 40

## 【 0 2 0 8 】

また、本発明によれば、リフトオフ用レジストパターンをマスクとしてドライエッチングによりパターニングした膜の周縁部等の上に残る不要な形成物を、除去又は減らすことができ、これにより、直列抵抗成分を低減できるという利点及び／又は縦バイアスをより有効にフリー層に印加できるという利点を得ることができる磁気抵抗効果素子及び磁気ヘッドを製造することができる磁気抵抗効果素子及び磁気ヘッドの各製造方法を提供することができる。

## 【 0 2 0 9 】

50

さらに、本発明によれば、高記録密度化を図ることができる磁気ディスク装置、及びこれに用いることができるヘッドサスペンションアセンブリを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法により製造される磁気ヘッドを模式的に示す概略斜視図である。

【図 2】図 1 に示す磁気ヘッドの TMR 素子及び誘導型磁気変換素子の部分を模式的に示す拡大断面図である。

【図 3】図 2 中の A-A' 矢視概略図である。

【図 4】図 2 中の TMR 素子付近を更に拡大した拡大図である。

【図 5】図 3 中の TMR 素子付近を更に拡大した拡大図である。

10

【図 6】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の一工程を模式的に示す図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の他の工程を模式的に示す図である。

【図 8】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 9】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 10】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

20

【図 11】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 12】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 13】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 14】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 15】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

30

【図 16】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 17】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 18】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 19】本発明の第 1 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 20】第 1 の比較例による磁気ヘッド製造方法の一工程を模式的に示す図である。

【図 21】第 1 の比較例による磁気ヘッド製造方法の他の工程を模式的に示す図である。

40

【図 22】第 1 の比較例による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 23】第 1 の比較例による磁気ヘッド製造方法により製造される磁気ヘッドの TMR 素子の部分を模式的に示す拡大断面図である。

【図 24】第 1 の比較例による磁気ヘッド製造方法により製造される磁気ヘッドの TMR 素子の部分を模式的に示す他の拡大断面図である。

【図 25】本発明の第 2 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法により製造される磁気ヘッドの TMR 素子及び誘導型磁気変換素子の部分を模式的に示す拡大断面図である。

【図 26】図 25 中の TMR 素子の付近を更に拡大した拡大図である。

【図 27】本発明の第 2 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の一工程を模式的に示す

50

概略断面図である。

【図 28】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法により製造される磁気ヘッドの GMR 素子及び誘導型磁気変換素子の部分を模式的に示す拡大断面図である。

【図 29】図 28 中の GMR 素子の付近を更に拡大した拡大図である。

【図 30】図 29 中の B-B' 矢視概略図である。

【図 31】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の一工程を模式的に示す図である。

【図 32】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の他の工程を模式的に示す図である。

【図 33】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。 10

【図 34】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 35】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 36】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 37】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 38】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。 20

【図 39】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 40】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 41】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 42】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 43】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。 30

【図 44】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 45】本発明の第 3 の実施の形態による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 46】第 2 の比較例による磁気ヘッド製造方法の一工程を模式的に示す図である。

【図 47】第 2 の比較例による磁気ヘッド製造方法の他の工程を模式的に示す図である。

【図 48】第 2 の比較例による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。

【図 49】第 2 の比較例による磁気ヘッド製造方法の更に他の工程を模式的に示す図である。 40

【図 50】第 2 の比較例による磁気ヘッド製造方法により製造される磁気ヘッドの GMR 素子の部分を模式的に示す拡大断面図である。

【図 51】図 50 中の M-M' 矢視概略図である。

【図 52】図 50 中の N-N' 矢視概略図である。

【図 53】本発明の第 4 の実施の形態による磁気ディスク装置の要部の構成を示す概略斜視図である。

【図 54】イオンビームエッチングの前後の状態の表面の高さの様子を模式的に示す図である。

【図 55】イオンビーム入射角度  $\theta$  とイオンビームエッチング後の乗り上げ部の高さとの 50

関係を示す図である。

【図 5 6】イオンビーム入射角度  $\theta$  と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  に対する各金属のエッチングレート比との関係を示す図である。

【図 5 7】イオンビーム入射角度  $\theta$  と  $\text{SiO}_2$  に対する各金属のエッチングレート比との関係を示す図である。

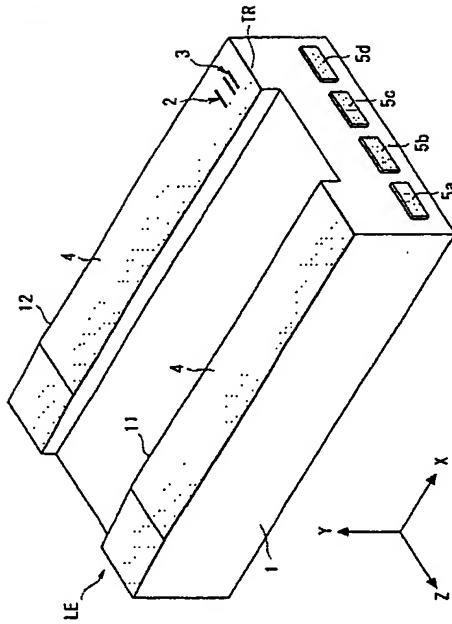
【図 5 8】所定のサンプルの構造を模式的に示す概略断面図である。

【符号の説明】

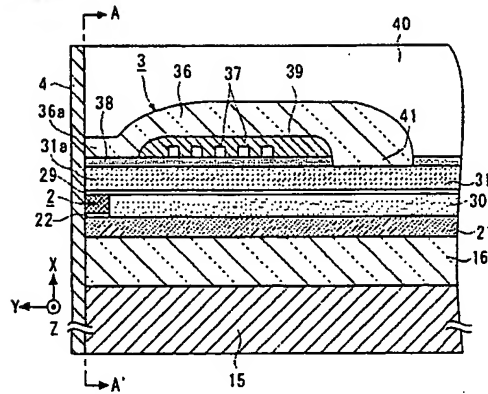
- |                                |                  |    |
|--------------------------------|------------------|----|
| 1                              | スライダ             |    |
| 2                              | TMR 素子           |    |
| 3                              | 誘導型磁気変換素子        | 10 |
| 6                              | GMR 素子           |    |
| 2 1                            | 下部電極 (下部磁気シールド層) |    |
| 2 2, 2 3                       | 下部金属層            |    |
| 2 4                            | ピン層              |    |
| 2 5                            | ピンド層             |    |
| 2 6                            | トンネルバリア層         |    |
| 2 7                            | フリー層             |    |
| 2 8                            | 上部金属層            |    |
| 2 9                            | 上部金属層            |    |
| 3 0, 3 4                       | 絶縁層              | 20 |
| 3 1                            | 上部電極 (上部磁気シールド層) |    |
| 3 2                            | 磁区制御層            |    |
| 3 3, 3 5                       | 絶縁層              |    |
| 5 0                            | 表面酸化膜            |    |
| 6 1                            | 下部シールドギャップ層      |    |
| 6 2                            | 上部シールドギャップ層      |    |
| 6 3                            | シールドギャップ層 (絶縁層)  |    |
| 6 4                            | 非磁性金属層           |    |
| 7 1, 8 1, 1 1 1, 1 2 1         | リフトオフ用レジストパターン   |    |
| 7 1 a, 8 1 a, 1 1 1 a, 1 2 1 a | アンダーカット          | 30 |
| 7 2, 8 2, 1 1 2, 1 2 2         | 再付着物             |    |



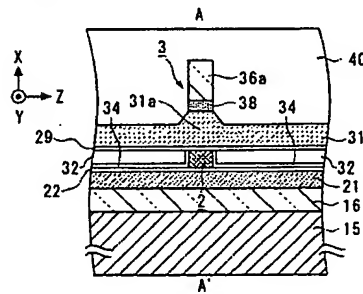
【 図 1 】



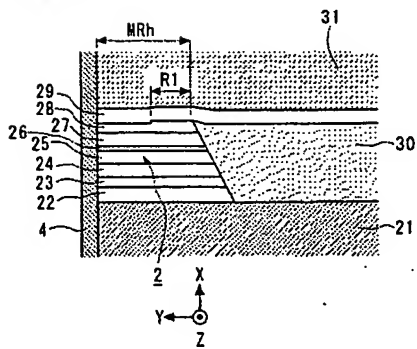
【 図 2 】



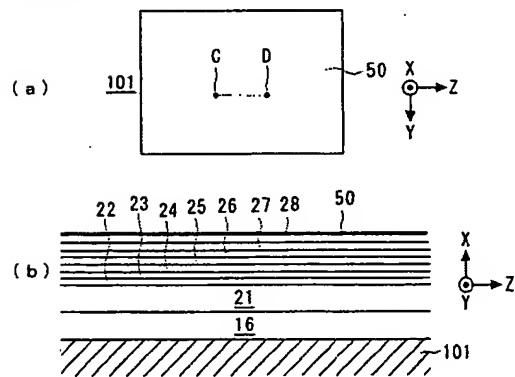
【 図 3 】



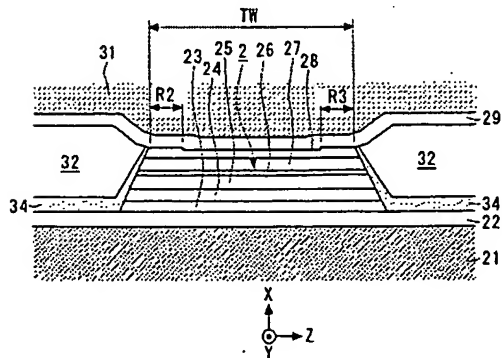
【 図 4 】



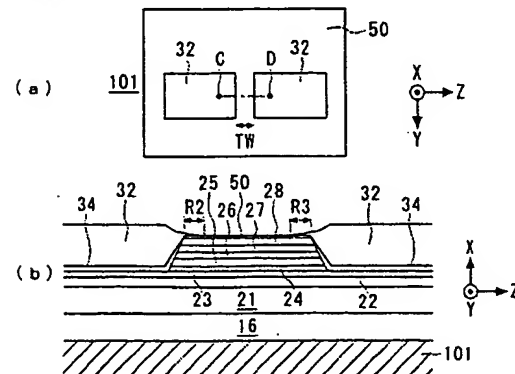
【 図 6 】



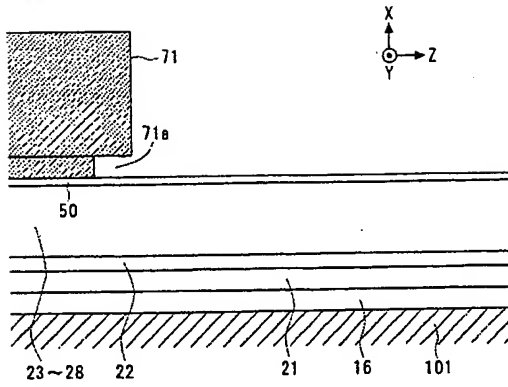
【 図 5 】



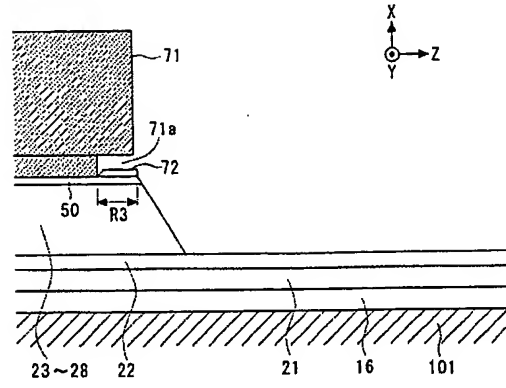
【 図 7 】



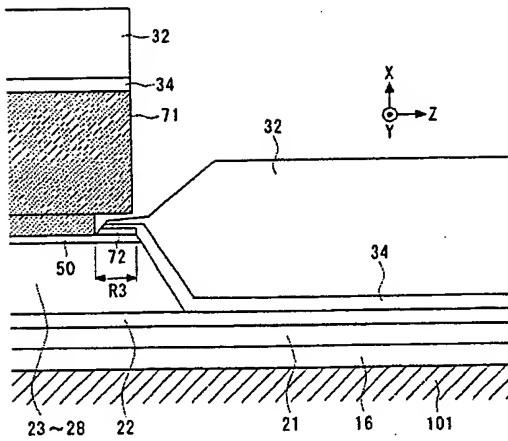
【 図 8 】



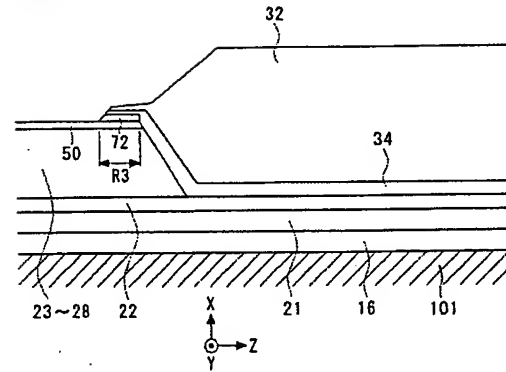
【 図 9 】



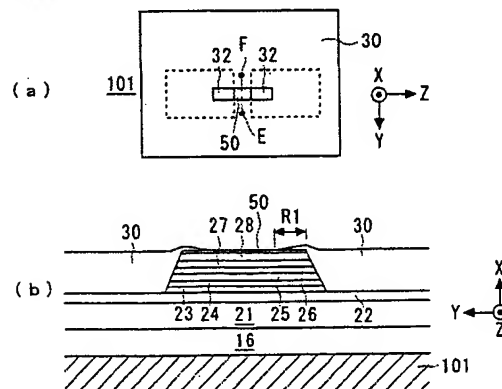
【 図 10 】



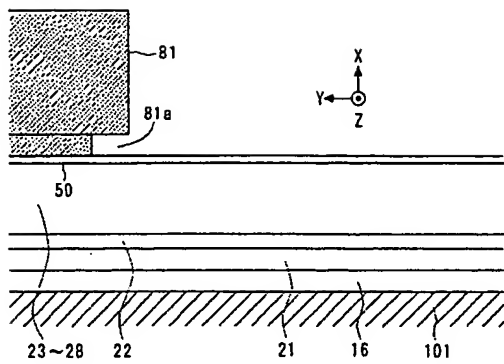
【 図 11 】



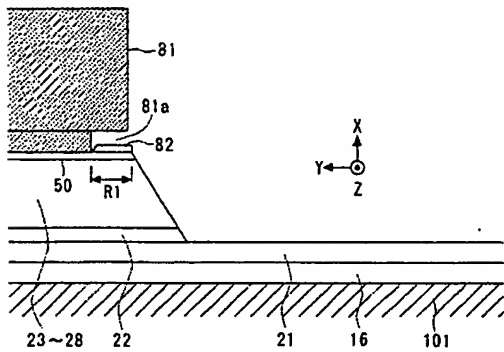
【 図 12 】



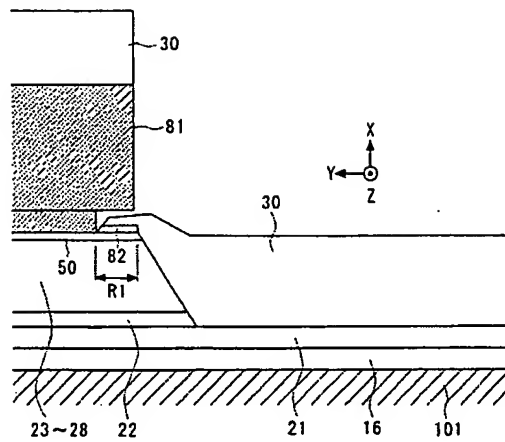
【図 13】



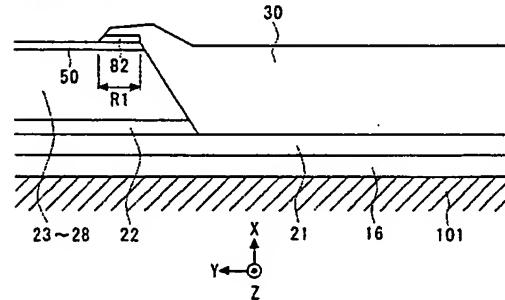
【図 14】



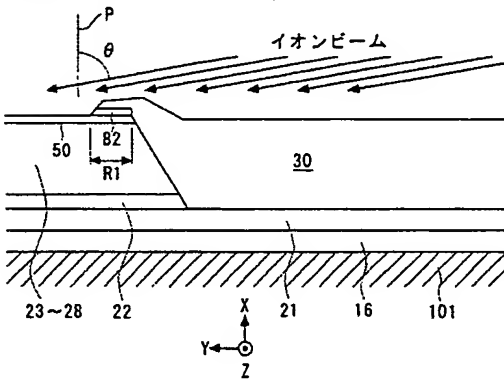
【図 15】



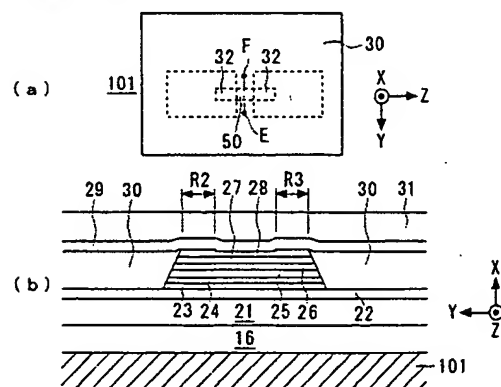
【図 16】



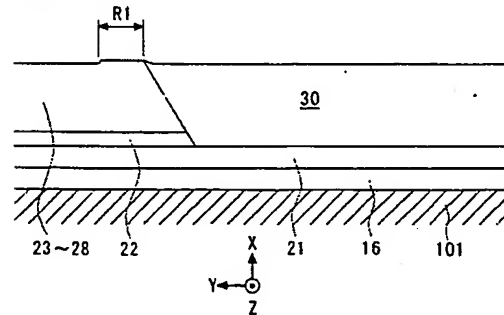
【図 17】



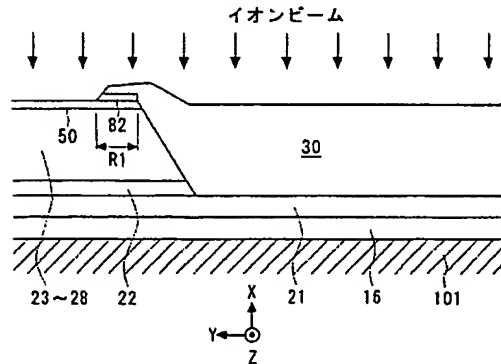
【図 19】



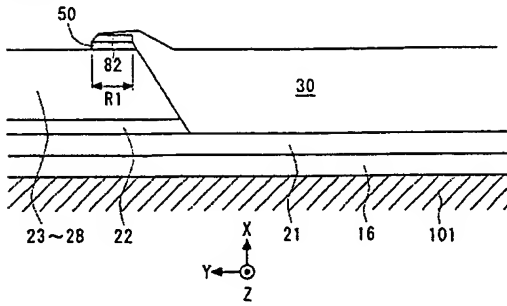
【図 18】



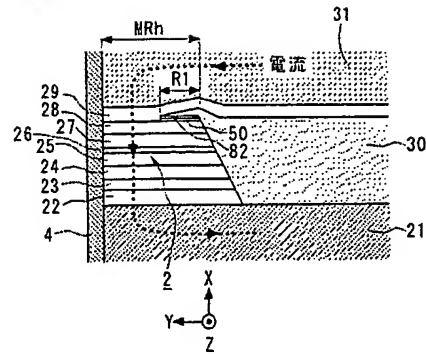
【図 20】



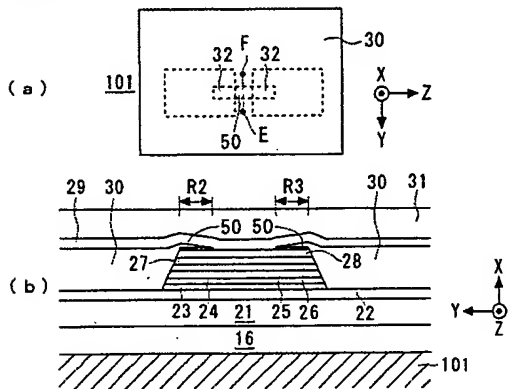
【図 2 1】



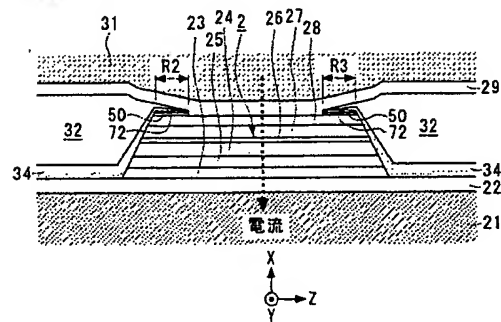
【図 2 3】



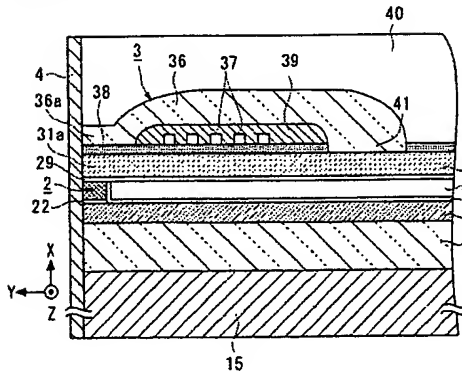
【図 2 2】



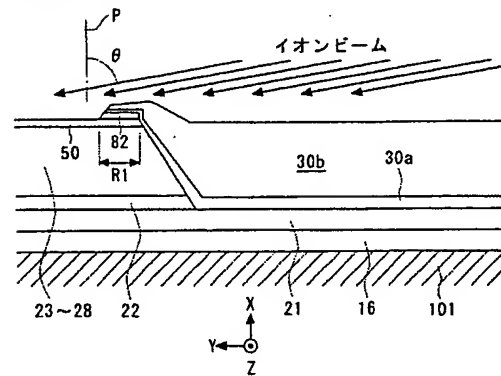
【図 2 4】



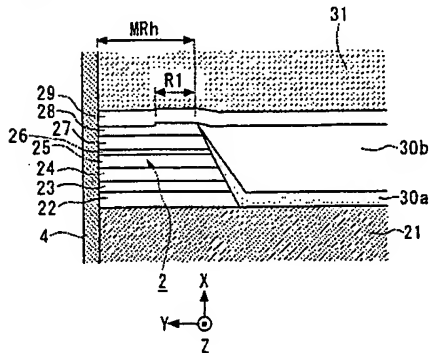
【図 2 5】



【図 2 7】



【図 2 6】



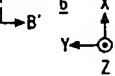
【圖 28】



【 図 3 0 】



【 図 2 9 】



【 3 1 】



【 例 3 3 】



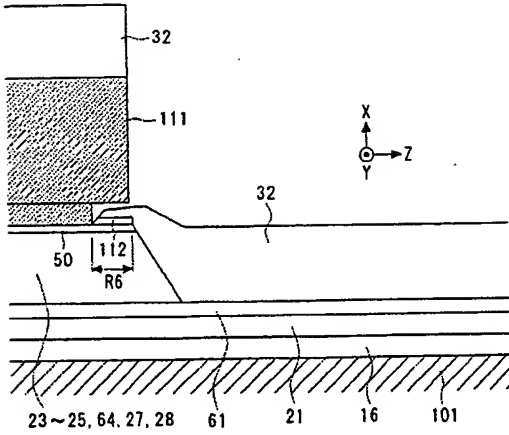
【图 3 2】



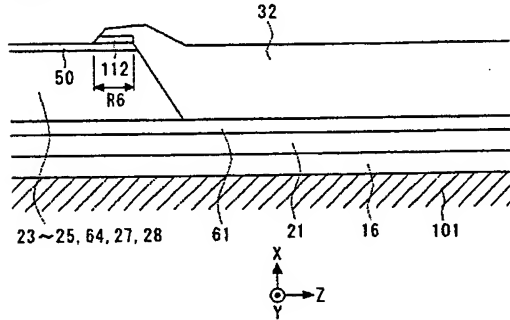
【圖 3 4】



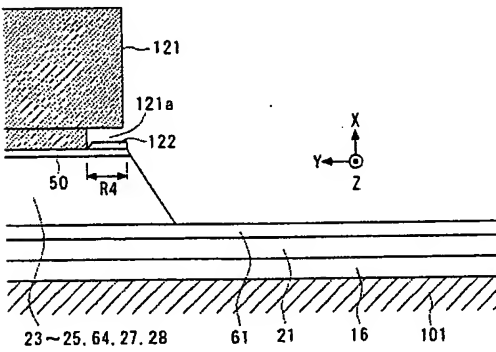
【 図 3 5 】



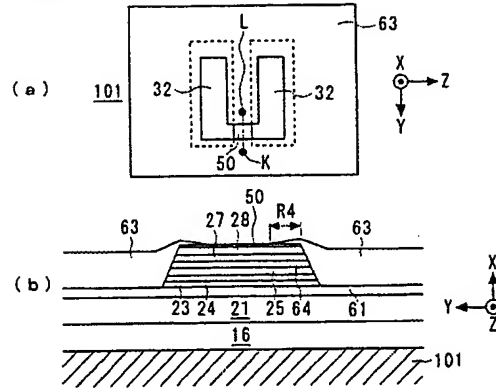
【 図 3 6 】



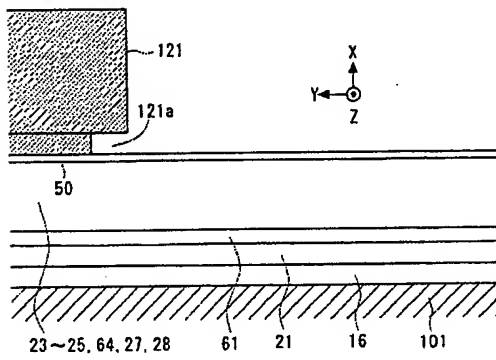
【 図 3 9 】



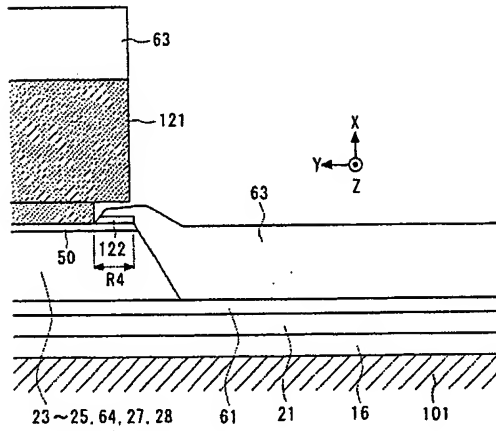
【 図 3 7 】



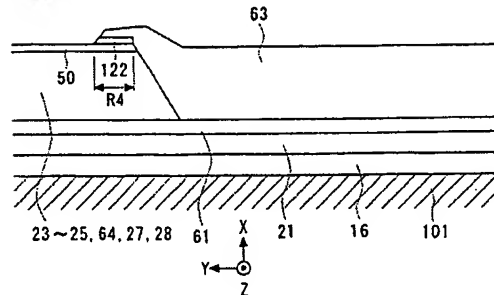
【 図 3 8 】



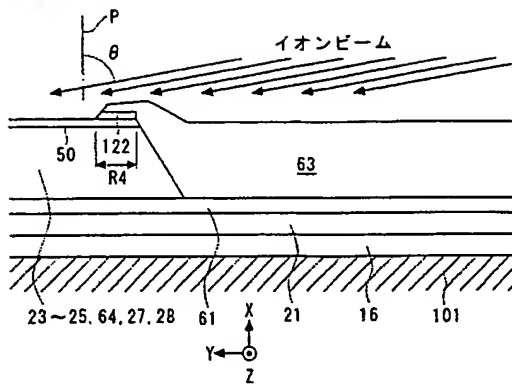
【 図 4 0 】



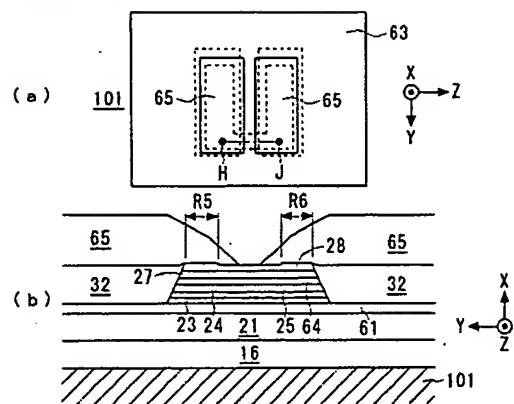
【 図 4 1 】



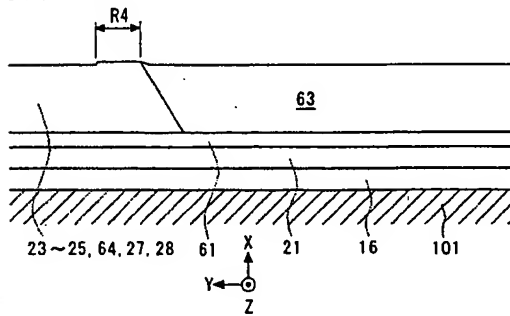
【 図 4 2 】



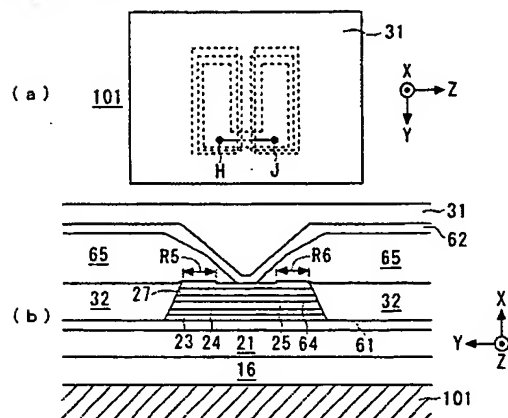
【 図 4 4 】



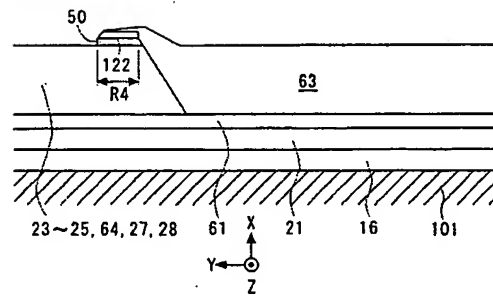
【 図 4 3 】



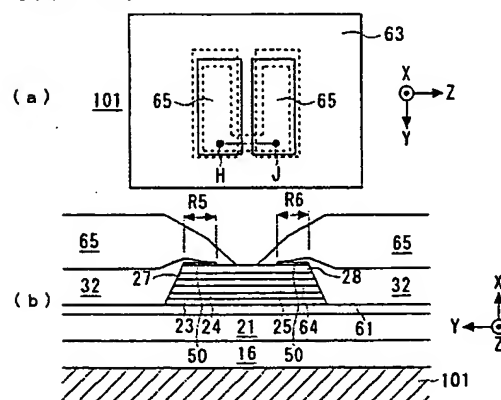
【 図 4 5 】



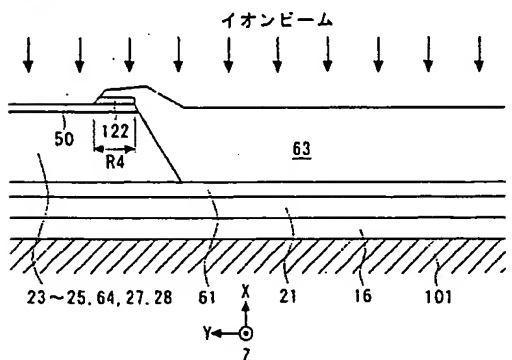
【 図 4 7 】



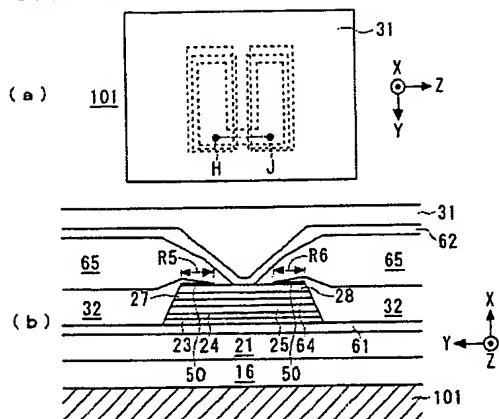
【 図 4 8 】



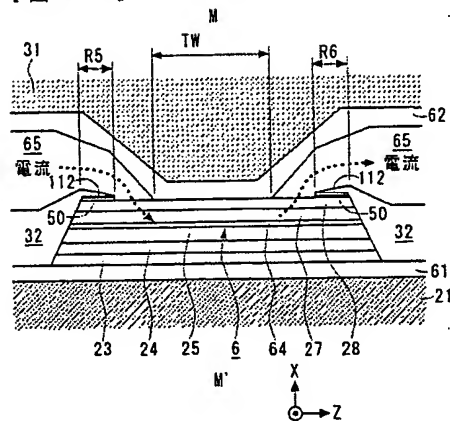
【 図 4 6 】



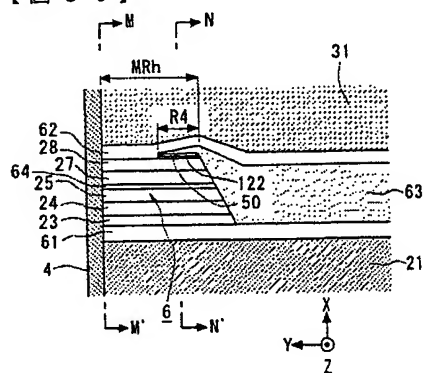
【 図 4 9 】



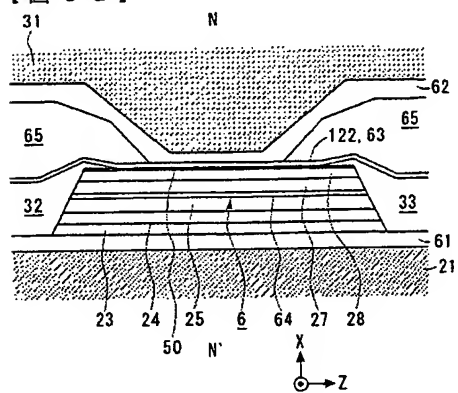
【 図 5 1 】



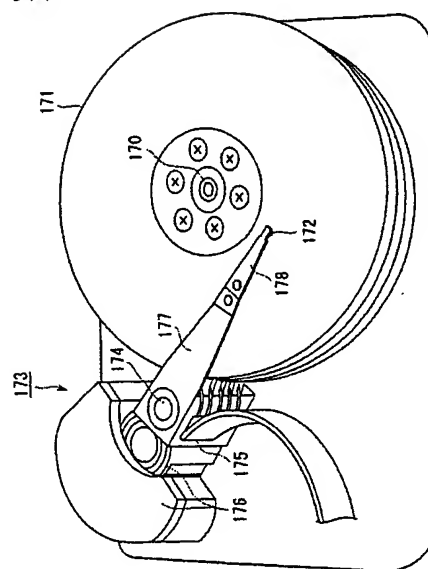
【 図 5 0 】



【 図 5 2 】

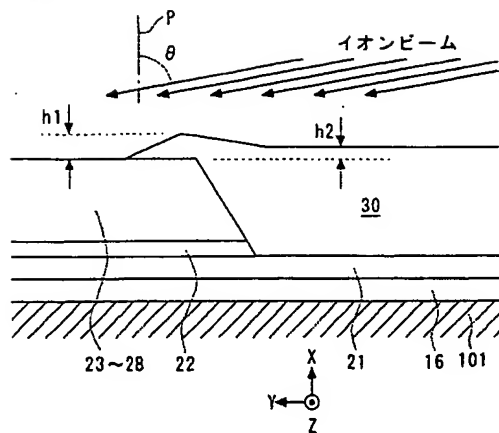


【 図 5 3 】

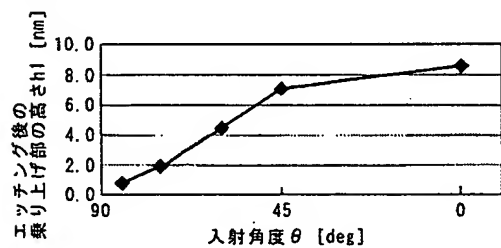




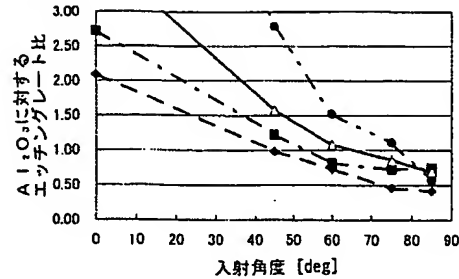
【 図 5 4 】



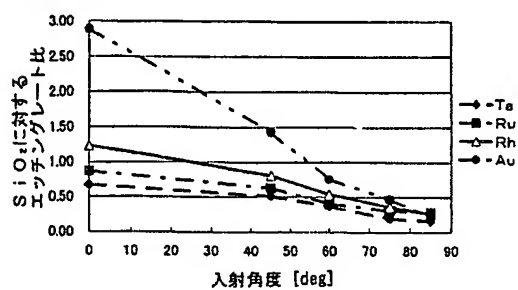
【 図 5 5 】



【 図 5 6 】



【 図 5 7 】



【 図 5 8 】

